



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**Analisa Stabilitas Tegangan Sistem Distribusi Tidak Seimbang Dengan Metode *Backward/Forward Sweep Load-Flow Analysis* Dengan *Secant Predictor* Pada Bandara Juanda**

Novian Patria Uman Putra  
NRP 2213105089

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

***Voltage stability analysis of unbalanced distribution system using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor in juanda airport***

Novian Patria Uman Putra  
NRP 2213105089

Supervisors  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015

**ANALISA STABILITAS TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI TIDAK  
SEIMBANG DENGAN METODE BACKWARD/FORWARD SWEEP  
LOAD-FLOW ANALYSIS DENGAN SECANT PREDICTOR PADA  
BANDARA JUANDA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.  
NIP. 1964 04 05 1990 02 1001**

**Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
NIP. 1973 09 27 1998 03 1004**

**SURABAYA  
JULI, 2015**

# **Analisa stabilitas tegangan sistem distribusi tidak seimbang dengan metode *backward/forward sweep load-flow analysis* dengan *secant predictor* pada bandara Juanda**

Novian Patria Uman Putra  
2213 105 089

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Dosen Pembimbing II : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

## **Abstrak:**

Sistem pembangkit yang telah dibangun di Bandara Juanda adalah untuk menyuplai suatu sistem distribusi kelistrikan di daerah Bandara Juanda. Bandara Juanda mendapat suplai listrik PLN sebesar 9,5 MVA dari gardu penyalang sedati, dan 3,45 MVA dari Pranti. Untuk kemudian jaringan listrik disalurkan ke semua beban yang ada di Bandara Juanda Surabaya. Distribusi di bandara Juanda bertipe radial dan umumnya memiliki jumlah cabang yang sangat banyak sehingga tingkat ketidakseimbangan sistem tiga fasa sangat besar, maka dibutuhkan metode untuk menganalisis aliran daya tidak seimbang yang akurat. Salah satu metode yang saat ini sedang dikembangkan adalah metode *forward backward sweep* ditambahkan dengan *secant predictor* dan kurva P-V untuk mencari nilai tegangan dan arus tiap cabang sehingga dapat diketahui di cabang mana yang bisa ditambah beban dan tidak yang berfungsi untuk pengembangan bandara ke depan.

**Kata Kunci :** sistem distribusi ,aliran daya, ketidakseimbangan beban, *forward backward, secant predictor*



# **Analisa stabilitas tegangan sistem distribusi tidak seimbang dengan metode *backward/forward sweep load-flow analysis* dengan *secant predictor* pada bandara Juanda**

Novian Patria Uman Putra  
2213 105 089

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Dosen Pembimbing II : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

## **Abstrak:**

Sistem pembangkit yang telah dibangun di Bandara Juanda adalah untuk menyuplai suatu sistem distribusi kelistrikan di daerah Bandara Juanda. Bandara Juanda mendapat suplai listrik PLN sebesar 9,5 MVA dari gardu penyalang sedati, dan 3,45 MVA dari Pranti. Untuk kemudian jaringan listrik disalurkan ke semua beban yang ada di Bandara Juanda Surabaya. Distribusi di bandara Juanda bertipe radial dan umumnya memiliki jumlah cabang yang sangat banyak sehingga tingkat ketidakseimbangan sistem tiga fasa sangat besar, maka dibutuhkan metode untuk menganalisis aliran daya tidak seimbang yang akurat. Salah satu metode yang saat ini sedang dikembangkan adalah metode *forward backward sweep* ditambahkan dengan *secant predictor* dan kurva P-V untuk mencari nilai tegangan dan arus tiap cabang sehingga dapat diketahui di cabang mana yang bisa ditambah beban dan tidak yang berfungsi untuk pengembangan bandara ke depan.

**Kata Kunci :** sistem distribusi ,aliran daya, ketidakseimbangan beban, *forward backward, secant predictor*

# **voltage stability analysis of unbalanced distribution system using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor in juanda airport**

Novian Patria Uman Putra  
2213 105 089

Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Supervisor II : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

## **Abstract:**

*Generating system which has been built at Juanda Airport is to supply an electrical distribution system in the area of Juanda Airport. Juanda got the electricity supply of 9.5 MVA of substation feeder Sedati, and 3.45 MVA of Pranti. To then be distributed to all the electrical grid load in Juanda Airport. Juanda airport electricity distribution is radial type and generally have a great number of branches as well as the degree of unbalanced of three-phase system, it takes a required method for analyze accurately of unbalanced power flow. One of method that is currently being developed is a forward backward sweep method combine with the secant predictor to get the PV curve for looking voltage and current values of each branch so that it can be seen in the branch which can be coupled to the load and for future development of the airport.*

**Keyword :** *distribution system ,load flow, unbalanced load, forward backward, secant predictor*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, sehingga buku tugas akhir ini dapat terselesaikan. Dan juga tidak lupa penyusun menyadari bahwa ini semua juga atas bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu dengan penuh rasa hormat dan rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan berkat, petunjuk jalan kebenaran, iman dan islam serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Syafaat Muhammad Rasulullah SAW.
3. Kepada kedua orang tua yang telah memberikan dukungan dan doa serta Pak umen sebagai dosen dan kakak yang telah membantu.
4. Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT dan Bapak Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. atas bimbingan selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen penguji atas arahan dan kritikan yang telah diberikan demi kesempurnaan alat yang kami buat.
6. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
7. Kepada pacar tercinta “anggit perwitasuci lestari” yang telah cerewet ngajak nikah selama ini hingga saya termotivasi.
8. Kepada mbahurekso yang telah memotivasi saya agar dari bukan siapa-siapa menjadi seperti sekarang.
9. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2013 semester ganjil khususnya bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan teman-teman seperjuangan dan yang membantu dalam proses pengerjaan asisten Laboratorium B103 atas bantuan dan dukungannya.
10. Teman-teman di Angkasapura I Juanda.

Akhir kata, segala kritik dan saran sangat saya harapkan untuk pengembangan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2015

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Tugas Akhir .....	1
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika .....	3
1.6 Relevansi .....	4
 <b>BAB II SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Besaran Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1.1 Tegangan .....	5
2.1.1.2 Arus Listrik .....	5
2.1.1.3 Daya Listrik .....	5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	7
2.2.1 Sistem Distribusi Radial .....	7
2.2.2 Sistem Distribusi Tak Seimbang .....	10
2.3 Konsep dasar dan definisi kestabilan .....	11
2.3.1 Kestabilan Tegangan .....	11
2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V .....	12
2.4 Definisi Tegangan Jatuh ( <i>Voltage Collapse</i> ) .....	13
2.5 Analisis Aliran Daya .....	13
2.6 Metode Analisis Aliran Daya .....	15
2.6.1 Metode Z <sub>BR</sub> .....	15



### **BAB III SISTEM TENAGA LISTRIK BANDARA JUANDA**

3.1 Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda.....	23
3.2 Sistem Distribusi Listrik Bandara Juanda .....	24
3.3 Kategori Beban .....	26
3.3.1 Kategori 1 atau jaringan Prioritas .....	27
3.3.2 Kategori 2 atau jaringan General .....	27
3.4 Pengumpulan Data .....	28
3.5 Continuous Power Flow .....	28

### **BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA BANDARA JUANDA**

4.1 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda .....	31
4.2 Analisis Stabilitas Tegangan Bandara Juanda .....	31

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57

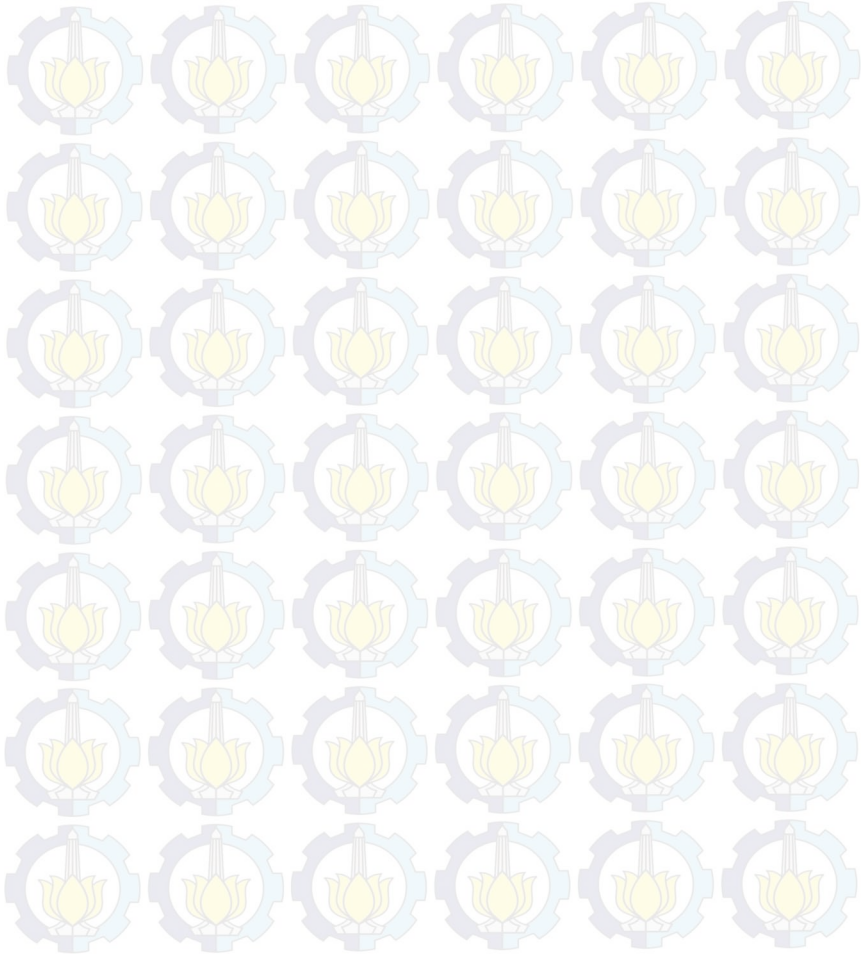
### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

### **RIWAYAT HIDUP PENULIS**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penggolongan Tegangan .....	32
Tabel 3.1 Data kapasitas transformator sistem bandara juanda .....	25
Tabel 3.2 Data Beban Bandara juanda .....	26
Tabel 4.1 Data Hasil analisis aliran daya Sistem bandara juanda .....	32





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Flowchart .....	3
Gambar 2.1 Segitiga Daya .....	6
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi radial tipe pohon .....	9
Gambar 2.3 Urutan positif,negative,nol .....	10
Gambar 2.4 Bentuk dan karakteristik kurva P-V .....	12
Gambar 2.5 Single Line Diagram contoh analisis menggunakan network topology .....	16
Gambar 2.6 Contoh Rangkaian 3 Fasa untuk membentuk matrik $Z_{BR}$ .....	18
Gambar 2.7 Single Line Diagram contoh analisis menggunakan metode K-matrik .....	19
Gambar 2.8 Continuous Power Flow .....	29
Gambar 4.1 Single Line Diagram Bandara Juanda .....	31
Gambar 4.2 Grafik tegangan .....	38
Gambar 4.3 Kurva P-V bus 1 .....	39
Gambar 4.4 Kurva P-V bus 3 .....	40
Gambar 4.5 Kurva P-V bus 5 .....	40
Gambar 4.6 Kurva P-V bus 6 .....	41
Gambar 4.7 Kurva P-V bus 7 .....	42
Gambar 4.8 Kurva P-V bus 9 .....	42
Gambar 4.9 Kurva P-V bus 11 .....	43
Gambar 4.10 Kurva P-V bus 13 .....	44
Gambar 4.11 Kurva P-V bus 18 .....	44
Gambar 4.12 Kurva P-V bus 32 .....	45

## BIOGRAFI PENULIS



Novian Patria Uman Putra dan biasa dipanggil Umen lahir di Surabaya pada tanggal 11 Nopember 1990. Penulis menempuh Sekolah dasar di SDN Mojo 4 di Surabaya selama 6 tahun, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Surabaya selama 3 tahun, serta menempuh pendidikan di SMAN 7 Surabaya selama 3 tahun. Setelah lulus dari SMA, Penulis sempat kuliah di S-1 teknik mesin ITS selama 2 tahun tetapi kemudian penulis kuliah Program Diploma 3 (D3) jurusan Teknik Elektro Industri di PENS-ITS Surabaya selama 3 tahun dan lulus tahun 2013. Setelah menyelesaikan program Diploma 3, penulis melanjutkan kuliah Program Strata 1 (S1) jurusan Teknik Elektro di ITS Surabaya. Penulis hobi bermain DOTA dengan teman teman kampus, jika ada keperluan bisa menghubungi di email [novian\\_umen@yahoo.com](mailto:novian_umen@yahoo.com)



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Stabilitas sistem tenaga telah menjadi perhatian utama dalam sebuah sistem operasi. Perhatian itu muncul dari fakta bahwa pada kondisi operasi sistem dan beban yang tidak seimbang dapat mempengaruhi batas kestabilan suatu sistem.

Metode yang telah digunakan adalah dengan penentuan titik kestabilan dengan menggunakan backward/forward sweep dimana dengan proses perhitungan metode ini memerlukan waktu yang cukup lama dan proses yang cukup rumit. Oleh karena itu dengan penambahan kontrol adaptif pada perhitungan yaitu secant predictor diharapkan dapat mengurangi waktu proses penentuan titik MLP pada kurva, sehingga bila beban tidak seimbang seiring perubahan waktu dapat diketahui dengan cepat sehingga kondisi sistem yang sedang berjalan apakah masih tetap stabil atau tidak.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan parameter, predictor, dan corrector pada sistem distribusi bandara Juanda.
2. Bagaimana mengetahui kestabilan sistem bandara Juanda.
3. Menentukan nilai tegangan, dan arus tiap bus tiap fasa.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Mendapatkan matriks impedansi serta grafik kurva PV.
2. Menghitung analisis aliran daya tiga fasa sistem distribusi.
3. Mengetahui perbandingan metode analisis aliran daya yang digunakan dengan analisis aliran daya klasik.



## 1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### 1. Pengambilan Data

Pada awal penelitian dikumpulkan data-data dalam melakukan analisis data berupa single line diagram, data beban (P dan Q), serta impedansi saluran pada tiap penyulang. Semua data diinputkan dalam program *power flow* menggunakan *software* Matlab.

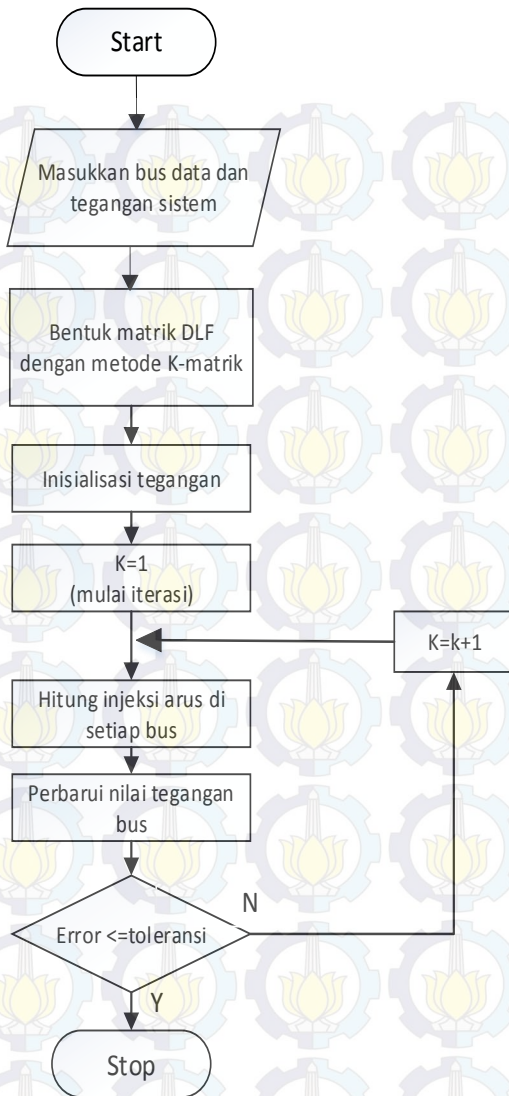
### 2. Simulasi dan Analisis Data

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan alur aliran arus di setiap penyulang kemudian direpresentasikan dalam bentuk K-matriks. K-matriks yang telah terbentuk dikonversikan menjadi matriks *BIBC* dan *BCBV* sesuai dengan persamaan. Untuk perhitungan aliran daya tiga fasa tidak seimbang dimasukkan parameter *Bus data*. Langkah berikutnya adalah dengan menghitung besar drop tegangan pada tiap bus pada sistem dengan menggunakan matriks *DLF*. Untuk mendapatkan nilai tegangan bus digunakan tegangan tanpa beban dikurangi hasil perhitungan drop tegangan. Kemudian akan didapatkan besar arus yang mengalir pada tiap *branch* (cabang). Untuk mendapatkan hasil yang akurat, proses perhitungan tersebut diulang dengan menggunakan ketentuan iterasi besar *error* arus yang terbaru dengan hasil arus perhitungan sebelumnya lebih dari ekspektasi toleransi perhitungan.

Hasil perhitungan menggunakan metode K-matriks dan ZBR akan ditambahkan dengan metode Continuous Power Flow (CPF) sehingga dapat diketahui kestabilan tegangan pada sistem dan mengetahui di bus mana yang mengalami *voltage collapse* terlebih dahulu.

### 3. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan perbandingan metode yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.



**Gambar 1.1** Flow chart penyelesaian tugas akhir



## 1.5 Sistematika

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Kestabilan tegangan

Bab ini membahas kestabilan sistem tenaga listrik yang dapat didefinisikan secara umum sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sistem pada kondisi normal setelah sistem mengalami gangguan.

Bab 3 : Sistem Tenaga Listrik bandara Juanda

Bab ini membahas mengenai sistem Tenaga listrik Bandara Juanda dari sumber hingga beban yang akan dijadikan objek penelitian.

Bab 4 : Hasil simulasi dan analisis stabilitas tegangan pada bandara juanda

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis aliran daya pada sistem Distribusi Bandara Juanda dan dengan membandingkan hasilnya dengan metode yang telah ada.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

## 1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi ataupun dapat menjadi tugas akhir selanjutnya bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian yang berhubungan dengan analisis yang dilakukan penulis.
2. Dapat menjadi dasar pertimbangan bagi PT.Angkasapura atau pihak pengembang sistem distribusi Bandara untuk mengetahui kondisi real sistem yang telah ada,dan dapat digunakan untuk tujuan monitoring data pada sistem.

## **BAB 2**

### **SISTEM TENAGA LISTRIK**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Energi listrik merupakan jenis energi yang paling efisien dan efektif untuk dibangkitkan dan didistribusikan untuk keperluan masyarakat. Energi listrik diperoleh dari hasil konversi energi primer seperti energi panas, energi potensial, energi mekanik dan lain-lain. Sehingga dalam proses pembangkitan maupun rekayasanya, banyak parameter maupun besaran yang harus diperhatikan.

##### **2.1.1 Besaran Sistem Tenaga Listrik**

Untuk mempelajari dan menganalisis suatu sistem tenaga listrik wajib diketahui beberapa parameter maupun besaran yang ada untuk mengetahui gejala-gejala listrik yang ada.

###### **2.1.1.1 Tegangan**

Tegangan adalah perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Tegangan dapat menunjukkan besar energi potensial listrik yang menimbulkan adanya aliran listrik pada suatu konduktor. Secara umum dalam sistem tenaga listrik, besar tegangan dibagi menjadi beberapa golongan yaitu:

**Tabel 2.1** Penggolongan tegangan

Golongan Tegangan	Rentang Nilai Tegangan
Tegangan Tinggi	> 3500 volt
Tegangan Menengah	1000 volt – 35000 volt
Tegangan Rendah	50 volt – 1000 volt

###### **2.1.1.2 Arus Listrik**

Arus listrik adalah jumlah muatan listrik yang mengalir pada konduktor sirkuit listrik per detik. Arus listrik terjadi akibat adanya pergerakan elektron-elektron dalam konduktor yang bertegangan. Arus listrik dinyatakan dalam satuan Coulomb/detik atau lebih umum disebut dengan Ampere.

###### **2.1.1.3 Daya Listrik**

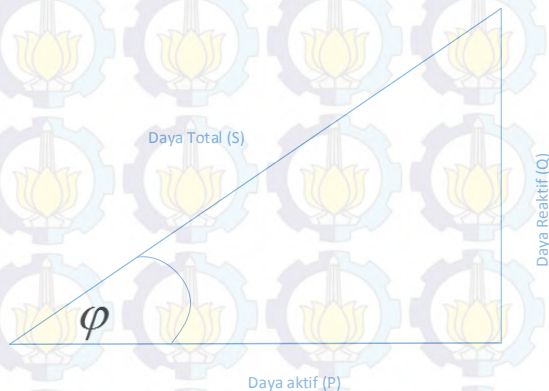
Dalam sistem tenaga listrik, terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah

beban yang hanya terdiri dari tahanan ohm dan daya yang dikonsumsi hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri yaitu disamping mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet dalam beban tersebut. Daya listrik dibagi menjadi 3 jenis daya sesuai dengan bagaimana proses pembangkitannya, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya total.

Daya aktif adalah daya yang dihasilkan dari energi yang nyata dan digunakan untuk melakukan energi yang nyata pula. Pada prinsipnya daya aktif dibangkitkan dari proses konversi energi primer seperti energi panas, energi mekanik, ataupun energi potensial. Daya aktif disimbolkan dengan “P” dan dinyatakan dalam satuan Watt.

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet. Pada prinsipnya daya reaktif dihasilkan dari pembangkitan medan listrik pada generator sinkron melalui sistem eksitasinya. Daya reaktif disimbolkan dengan “Q” dan dinyatakan dalam satuan VAR. Daya total adalah daya yang dihasilkan dari perkalian antara arus dan tegangan, disimbolkan dengan “S” dan dinyatakan dalam satuan VA.

Dalam mendefinisikan hubungan antara tiga daya tersebut, digunakan teori segitiga daya.



**Gambar 2.1** Segitiga daya

Dari gambar segitiga daya di atas dapat disimpulkan hubungan antara ketiganya sebagai berikut :

$$S = V \times I \quad (2.1)$$

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.2)$$



$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.3)$$

$\cos \varphi$  merupakan sudut yang merepresentasikan hubungan antara ketiga daya tersebut. Dalam sistem tenaga listrik,  $\cos \varphi$  merupakan parameter penting yang biasa disebut dengan faktor daya.  $\cos \varphi$  juga menunjukkan adanya perbedaan sudut antara gelombang tegangan dan gelombang arus dalam fungsi waktu.

Apabila suatu beban memiliki karaktereistik gelombang arus yang tertinggal maka beban tersebut memiliki nilai  $\cos \varphi$  negatif atau disebut dengan *lagging*. Namun, apabila suatu beban memiliki karakteristik gelombang arus yang mendahului gelombang tegangan maka beban tersebut memiliki nilai  $\cos \varphi$  positif atau disebut dengan *leading*.

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Awalnya energi listrik dibangkitkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD dengan tegangan menengah 13-20 kV. Umumnya pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pelanggan tenaga listrik. Untuk mentransmisikan tenaga listrik diperlukan penggunaan tegangan yang lebih tinggi yaitu Saluran Tegangan Tinggi 150/70 kV (STT) atau Saluran Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV (STET).

Dengan menggunakan transformator step up akan diperoleh tegangan yang lebih tinggi. Adapun alasan pemakaian tegangan tinggi adalah untuk efisiensi yaitu: pemakaian penampang penghantar menjadi efisien karena arus yang mengalir menjadi lebih kecil. Jika saluran transmisi sudah dekat dengan pengguna tenaga listrik yang merupakan suatu daerah industri atau kota, tegangan pada gardu induk distribusi diturunkan kembali menjadi tegangan menengah (TM) 20kV.

Sistem distribusi memiliki peranan yaitu menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing masing beban atau pelanggan dengan cara mengubah tegangan listrik yang didistribusikan menjadi tegangan yang dikehendaki, karena kedudukan sistem distribusi ada pada bagian paling akhir dari keseluruhan sistem tenaga listrik.

### 2.2.1 Sistem Distribusi Radial

Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena daya saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber jaringan itu kemudian dibagi dalam bentuk cabang ke setiap titik beban.

Akibat pencabangan tersebut arus beban yang mengalir disepanjang saluran tidak sama besar. Karena arus beban sepanjang

salurannya tidak sama besar, menyebabkan luas penampang konduktor pada jaringan radial ukurannya dapat berbeda. Maksudnya, saluran paling dekat sumber memikul arus beban yang lebih besar maka ukuran penampang konduktor yang digunakan lebih besar sedangkan saluran cabang makin ke ujung arus beban semakin kecil sehingga ukuran konduktor yang digunakan akan lebih kecil.

Sistem distribusi radial ditandai dengan hanya memiliki satu jalur dari sumber (gardu distribusi) menuju ke setiap pelanggan. Pembebanan sistem distribusi secara umum tidaklah seimbang disebabkan beban satu fasa yang nilai bebannya tidak sama dalam jumlah besar yang harus dilayani.

Ketidakeimbangan sistem distribusi radial juga disebabkan oleh jarak konduktor yang tidak sama pada saluran udara dan bawah tanah. Karena sifat dan karakteristik dari sistem distribusi inilah studi aliran daya konvensional untuk sistem transmisi tidak dapat diterapkan.

Adapun spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

**Kelebihan:**

- Bentuknya sederhana.
- Biaya investasinya relatif murah.

**Kelemahan:**

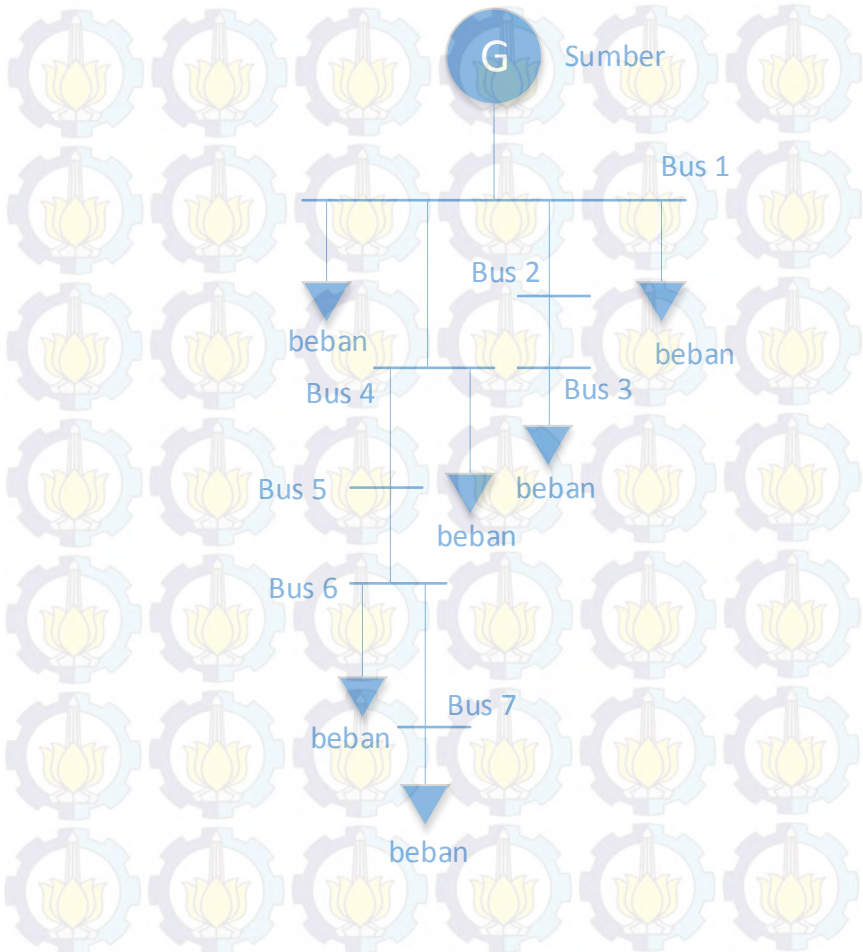
- Jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- Kontinuitas pelayanan daya tidak handal karena antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu saluran sehingga jika terjadi gangguan pada saluran tersebut maka seluruh beban sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman secara total.

Untuk meminimumkan gangguan, pada jaringan radial ini umumnya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya, berfungsi untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total yaitu daerah sesudah/di belakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi. Misalkan gangguan terjadi di titik B, maka daerah C, D, E dan lainnya terjadi pemadaman total. Jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi, antara lain:

- (1). Radial tipe pohon.
- (2). Radial dengan tie dan switch pemisah.

(3). Radial dengan pusat beban.

Berikut ini adalah contoh jaringan distribusi radial tipe pohon.



**Gambar 2.2** Jaringan distribusi radial tipe pohon

Gambar 2.2 adalah *Single Line Diagram* (SLD) dari sistem distribusi radial, Ini merupakan bentuk jaringan yang paling dasar. Hanya satu saluran utama untuk melayani beban kemudian dibagi menjadi beberapa cabang (*lateral feeder*) dan lateral penyulang ini dibagi lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang), Arus yang



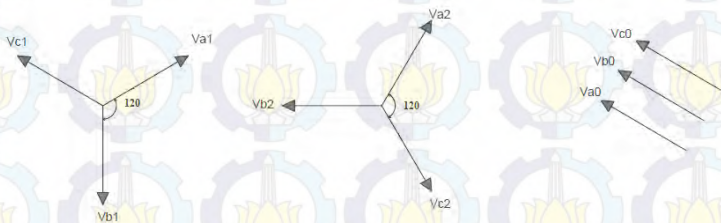
dipikul masing-masing saluran berbeda, arus yang mengalir pada penyulang utama adalah yang terbesar maka penampang konduktornya yang terbesar, arus pada penyulang lateral lebih kecil dari penyulang utama maka ukuran penampang konduktornya lebih kecil dan arus pada sublateral terkecil sehingga ukuran penampang konduktor yang terkecil. Pada penerapannya, sistem distribusi melayani berbagai macam beban sehingga memungkinkan sistem menjadi tak seimbang.

### 2.2.2 Sistem Distribusi Tak Seimbang

Sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa menggunakan empat kawat dengan tegangan 220/380 volt pada umumnya digunakan untuk mensuplai beban perumahan, gedung perkantoran, kawasan industri dan lainnya. Pada kondisi normal sistem distribusi mempunyai arus beban yang relatif seimbang dengan arus netral yang tidak lebih dari 20% arus nominal, namun pada penerapannya selalu terdapat ketidakseimbangan sehingga menghasilkan arus yang tidak seimbang.

Pada operasi normal, daya yang disalurkan kepada konsumen diambil dari *feeder* tiga fasa dengan empat kawat, namun karena adanya ketidakseimbangan pada beban di sisi konsumen maka mengakibatkan timbul arus balik yang mengalir pada konduktor netral menuju ke sumber yang dikenal dengan nama arus netral. Arus netral merupakan penjumlahan vektor dari ketiga fasa dalam komponen simetris.

Fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetri seperti yang telah diperkenalkan oleh C. L. Fortescue. Dia membuktikan bahwa dalam sebuah sistem yang tidak seimbang yang terdiri dari tiga fasor yang berhubungan dapat dianggap menjadi tiga fasor yang seimbang yang disebut sebagai komponen simetri.



**Gambar 2.3** Urutan positif, urutan negatif, urutan nol

Berdasarkan fenomena *Fortescue*, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diperoleh menjadi tiga sistem fasor yang seimbang, yaitu:

1. *Positive-sequence components*, terdiri dari tiga fasor yang sama magnitudenya, terpisah masing-masing sebesar  $120^\circ$  pada fasa, dan mempunyai urutan fasa a-b-c.
2. *Negative-sequence components*, terdiri dari tiga fasor yang sama magnitude, memiliki beda fase  $120^\circ$ , akan tetapi memiliki urutan fasa yang berlawanan dengan komponen urutan positif (urutan fasa a-c-b).
3. *Zero-sequence components*, terdiri dari tiga fasor yang sama dalam magnitude dan sefasa antara ketiga fasanya

## **2.3 Konsep dasar dan definisi kestabilan**

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan secara umum sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sistem pada kondisi normal setelah sistem mengalami gangguan .

Ketidakstabilan pada sistem tenaga listrik juga dapat didefinisikan dalam banyak makna, bergantung pada konfigurasi sistem dan mode operasi. Definisi ini akan memberikan gambaran bahwa kestabilan sistem tenaga dapat diukur dari kemampuan sistem untuk menjaga keseimbangan antara daya yang dibutuhkan dengan daya yang dihasilkan. Sistem dapat dalam kondisi tidak stabil bila adanya gangguan, meningkatnya beban yang dibutuhkan dan perubahan topologi jaringan yang mengakibatkan penurunan tegangan secara tidak terkendali.

### **2.3.1 Kestabilan Tegangan**

Kestabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan level tegangan semua bus (cabang) pada kondisi normal setelah sistem mengalami kondisi awal gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil bila adanya gangguan, meningkatnya beban yang dibutuhkan dan perubahan topologi jaringan yang mengakibatkan penurunan tegangan secara tidak terkendali. Ketidakstabilan sistem dapat dipengaruhi dari kondisi setiap komponen sistem tenaga, seperti:

#### **1. Generator**

Generator sebagai pembangkit listrik memberikan pasokan daya reaktif yang cukup untuk dapat menjaga sistem tenaga pada kondisi

stabil dengan menjaga level tegangan beroperasi pada standar yang normal. Namun generator dibatasi oleh kurva kapabilitas sehingga menyebabkan output daya reaktif menjadi berkurang yang disebabkan oleh terbatasnya belitan medan.

## 2. Saluran Transmisi

Saluran transmisi juga menjadi penyebab lain yang penting dalam stabilitas tegangan dimana saluran transmisi membatasi daya maksimum yang akan dikirim dan dapat diartikan sebagai batasan panas pada sistem transmisi.

## 3. Beban

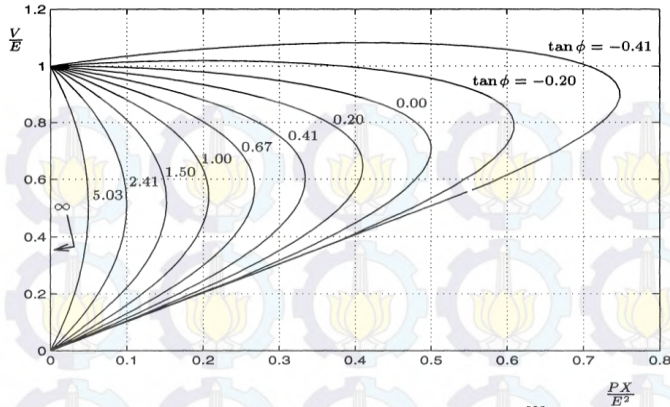
Beban merupakan komponen yang dapat menyebabkan stabilitas tegangan terganggu. Beban memiliki dua kategori yaitu beban statis dan beban dinamis, kedua jenis beban tersebut dapat pengaruh profil tegangan hingga melampaui batas daya reaktif pembangkit.

### 2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V

Kurva P-V merupakan salah satu cara indentifikasi faktor utama pada permasalahan ketidakstabilan. Dimana kurva ini menggambarkan tegangan yang bervariasi seiring dengan perubahan beban daya aktif yang terus meningkat. Kurva ini dihasilkan dengan sederet solusi aliran daya untuk tingkat beban yang berbeda-beda secara merata, dengan menjaga faktor daya selalu konstan.

Daya aktif yang dihasilkan berasal dari kenaikan rating generator yang proposional atau faktor-faktor yang dipengaruhi oleh pengoperasiannya. Kenaikan komponen P pada masing-masing beban bergantung pada tegangan bus sesuai dengan permodelan beban yang telah ditentukan. Penentuan titik kritis ketika terjadi kenaikan beban sangat penting karena dapat menyebabkan tegangan jatuh (*voltage collapse*) pada sistem seperti pada gambar 2.4.





**Gambar 2.4** Bentuk dan Karakteristik Kurva  $P$ - $V$  <sup>[3]</sup>

Beberapa penulis telah mengusulkan indeks stabilitas tegangan berdasarkan pada beberapa jenis analisa aliran daya, dengan tujuan untuk mengevaluasi batas stabilitas tegangan. Namun, aliran daya dengan menggunakan jacobian pada Metode Newton-Rapson digunakan untuk solusi tunggal aliran daya dalam titik kritis yang dekat pada daerah kritis yang cenderung menyimpang. Kekurangan ini dapat dihindari dengan menggunakan studi aliran daya lanjutan.

## 2.4 Definisi Tegangan Jatuh (*Voltage Collapse*)

Definisi tegangan jatuh (*voltage collapse*) adalah sebuah fenomena yang selalu muncul bila terjadi kenaikan beban yang sangat besar pada sistem tenaga listrik. *voltage collapse* terjadi jika nilai tegangan setelah terjadinya gangguan berada di bawah batas yang dapat diterima ataupun apabila terjadi kenaikan beban.

Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan *voltage collapse* diantaranya :

1. Jarak yang jauh antara pembangkit dan beban
2. Cara kerja sistem selama kondisi tegangan rendah
3. Pembebanan dan karakteristik beban dalam sistem yang kurang baik
4. Koordinasi yang kurang baik antara kontrol sistem dengan pengamanan sistem tenaga listrik.

Sebagian dari perubahan tersebut memiliki dampak yang signifikan dalam produksi, konsumsi, dan transmisi daya reaktif. Oleh karena itu disarankan untuk adanya tindakan pengontrolan dengan menggunakan perangkat kapasitor bank dan pembatasan beban .

## 2.5 Analisis Aliran Daya

Sistem distribusi merupakan bagian penyaluran daya yang penting karena letaknya yang dekat dengan beban. Di bagian sistem inilah beban dapat dipantau dan dilakukan pengaturan kuantitas dan kualitas daya yang dikirim. Untuk melakukan pemantauan, rekayasa, maupun desain suatu sistem distribusi harus dilaksanakan dengan tepat, dan akurat. Sehingga tentunya diperlukan analisis aliran daya sebelum melakukan analisis yang lebih lanjut.

Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah:

1. Untuk memeriksa tegangan dan sudut fasa masing masing bus.
2. Untuk memeriksa kemampuan semua peralatan yang ada dalam sistem apakah cukup besar untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi awal bagi studi-studi selanjutnya, yakni studi hubung singkat, studi rugi-rugi transmisi dan studi stabilitas. Ada 3 macam bus dalam hal ini setiap bus mempunyai empat besaran dengan dua besaran diantaranya diketahui yakni:

### **BUS REFERENSI (*slack bus*).**

Suatu bus yang selalu mempunyai besaran dan sudut fasa yang tetap dan telah diberikan sebelumnya, pada bus ini berfungsi untuk mencatu rugi-rugi, kekurangan daya yang ada pada jaringan, dalam hal ini penting karena kekurangan daya tidak dapat dicapai kecuali terdapat suatu bus yang mempunyai daya tak terbatas sehingga dapat mengimbangi rugi-rugi.

### **BUS PQ (*bus beban*).**

Pada tipe bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui, sedangkan dua lainnya didapat dari hasil perhitungan. BUS PV (*bus pembangkit*). Pada tipe bus ini, besar tegangan dan daya aktif telah ditentukan sedangkan daya reaktif dan sudut fasa tegangan didapat dari hasil perhitungan.

Pada tiap tiap bus terdapat 4 besaran, yaitu :

- Daya real atau daya aktif  $P$
- Daya reaktif  $Q$
- Harga skalar tegangan  $|V|$
- Sudut fasa tegangan  $\theta$

Dengan karakteristik khusus dan berbeda dengan saluran transmisi maka diperlukan analisis aliran daya yang tepat digunakan untuk saluran

distribusi. Beberapa penelitian dan pengembangan pemodelan matematis saluran distribusi dikenal beberapa metode analisis aliran daya pada saluran distribusi. Salah satu metode yang banyak digunakan dan dikembangkan adalah metode *forward-backward*.

Metode *forward-backward* merupakan metode analisis aliran daya dengan menggunakan prinsip hukum Kirchoff. Metode *forward-backward* tersiri dari dua langkah perhitungan dalam menghitung nilai tegangan yang pasti dalam sistem distribusi radial. Langkah yang pertama adalah menghitung besar arus yang mengalir pada cabang dimulai dari beban terujung hingga menuju *infinite bus*. Langkah ini disebut dengan metode *forward*. Kemudian arus yang mengalir di tiap cabang dikalikan dengan impedansi saluran untuk mendapatkan besar drop tegangan. Dengan melakukan perhitungan drop tegangan pada tiap saluran dan cabang sistem distribusi radial tersebut, tegangan pada tiap bus transformator distribusi dapat diketahui.

## **2.6 Metode Analisis Aliran Daya**

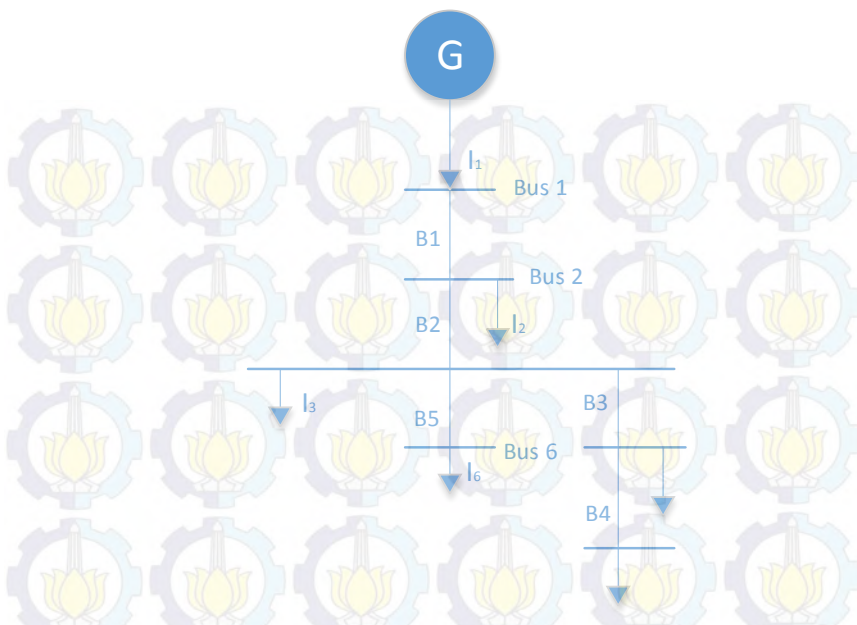
Dalam perkembangan analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward*, terdapat beberapa pengembangan yang telah dilakukan untuk menambah kekakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan analisis. Terutama untuk dapat mengakomodir sistem tiga fasa dalam keadaan tidak seimbang, maka perlu adanya rekayasa perhitungan secara matematik menggunakan beberapa cara kalkulasi dan pemodelan sistem.

### **2.6.1 Metode $Z_{BR}$**

Dalam melakukan proses analisis aliran daya dengan metode *forward-backward* pada sistem distribusi dengan sistem yang kompleks, diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan proses iterasi dan membentuk persamaan.

Salah satu metode yang dikembangkan adalah metode  $Z_{BR}$ . Metode  $Z_{BR}$  adalah metode yang digunakan untuk membentuk persamaan aliran daya dengan menyusun impedansi saluran distribusi radial dalam suatu matrik untuk menghitung drop tegangan. Sebelum membentuk matrik  $Z_{BR}$ , digunakan metode *network topology* untuk mendapatkan persamaan analisis aliran daya. Salah satu contoh pembentukan persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :





**Gambar 2.5** Single line diagram contoh analisis menggunakan metode *network topology*

Sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber pada *infinite bus* menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$B_5 = I_6 \quad (2.4.a)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.4.b)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.4.c)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.4.d)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.4.e)$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungan selanjutnya dengan menggunakan matrik.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Persamaan matrik di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.6)$$

Kemudian dibentuk persamaan untuk mencari nilai drop tegangan berdasarkan jalur injeksi arusnya.

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.7.a)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.7.b)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.7.c)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.7.d)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (2.7.e)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.8.a)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.8.b)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.8.c)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.8.d)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{26} \quad (2.8.e)$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

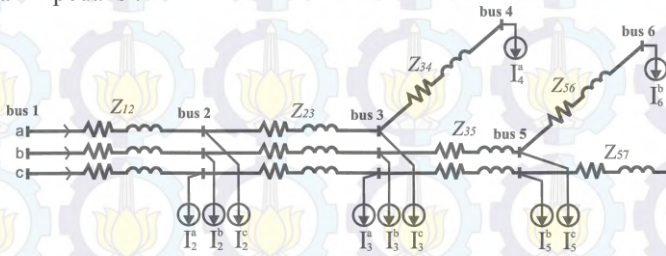
$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.9)$$

Sehingga, untuk mendapatkan nilai  $\Delta V$  didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.10.a)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.10.b)$$

Untuk melakukan analisis aliran daya tiga fasa, persamaan disusun dengan langkah-langkah yang sama. Untuk metode  $Z_{BR}$ , cara menghitung drop tegangan dilakukan per fasa dengan mengubah dimensi matrik menjadi 3 kali lipat karena digunakan untuk menghitung 3 rangkaian fasa. Matrik  $Z_{BR}$  merupakan matrik yang merepresentasikan impedansi saluran tiga fasa yang dibentuk dengan menelusuri jalur arus mengalir ke beban dan dikonversikan ke dalam matrik sesuai dengan nilai impedansi.



**Gambar 2.6** Contoh rangkaian 3 fasa untuk membentuk matrik  $Z_{br}$

Dari contoh rangkaian 3 fasa di atas, dapat dibentuk matrik untuk menghitung injeksi arus menggunakan matrik BCBV.

$$Z_{BR} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} Z_a & 0 & 0 \\ 0 & Z_b & 0 \\ 0 & 0 & Z_c \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

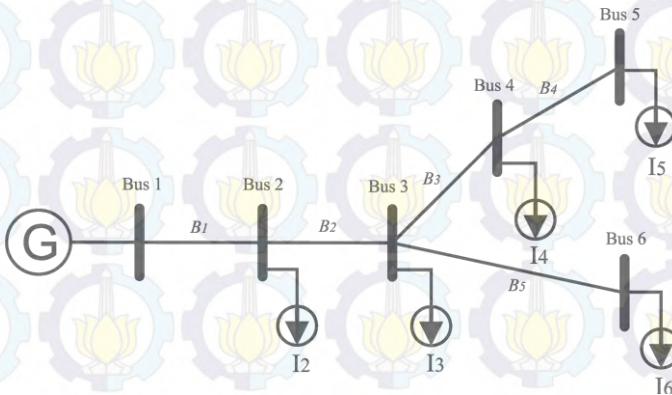
### 3.6.2 Metode K-matrik

Analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward* memiliki keefektifan dalam menghitung nilai tegangan pada tiap bus. Namun, apabila diterapkan dalam sistem yang

kompleks dan rumit dibutuhkan metode pengembangan lebih lanjut. Metode  $Z_{BR}$  merupakan metode pengembangan yang dapat memudahkan analisis untuk melakukan studi aliran daya. Dengan menyederhanakan pembentukan matrik impedansi saluran distribusi dapat mempercepat perhitungan studi aliran daya. Namun apabila metode  $Z_{BR}$  digunakan untuk melakukan analisis aliran daya pada sistem tiga fasa, diperlukan satu matrik yang digunakan untuk mendefinisikan jalur saluran tiga fasa. Misalkan dalam satu bus hanya terdapat dua fasa atau hanya satu fasa diperlukan pendefinisian manakah fasa yang hilang dalam bus tersebut.

Metode K-matrik merupakan metode pembentukan matrik impedansi dengan melakukan penelusuran alur/*path* saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain. Gambar di bawah adalah single line diagram untuk sistem yang sama dengan contoh single line diagram pada analisis aliran daya menggunakan metode  $Z_{BR}$ . Untuk membentuk K-matrik digunakan aturan penelusuran jalur.

- $k_{ij} = 1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang sama
- $k_{ij} = -1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan
- $k_{ij} = 0$ , jika cabang  $i$  tidak berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi



**Gambar 2.7** Single line diagram contoh analisis menggunakan metode K-matrik <sup>[6]</sup>



Maka untuk contoh single line diagram di atas, K-matrik-nya adalah :

$$\begin{array}{c} \text{bus2} \quad \text{bus3} \quad \text{bus4} \quad \text{bus5} \quad \text{bus6} \\ \begin{array}{c} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{array} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{array}$$

Pada contoh sebelumnya, dapat disimpulkan persamaan menghitung drop tegangan.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.12)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

Apabila kita amati bentuk dan komposisi dari matrik BIBC, terdapat persamaan komposisi matrik. Matrik BIBC memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen K-matrik. Sehingga dapat dirumuskan hubungan antara K-matrik dan BIBC sebagai berikut ;

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}] \quad (2.13)$$

Sedangkan bila matrik BIBC kita transpose komposisinya maka akan terbentuk matrik yang berkorelasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Apabila matrik BIBC' dikalikan per komponen (perkalian dot) dengan matrik impedansi *full branch*, maka akan didapatkan matrik BCBV.

$$BCBV = -[K - \text{matrik}]' \cdot [ZF_{BR}] \quad (2.14)$$

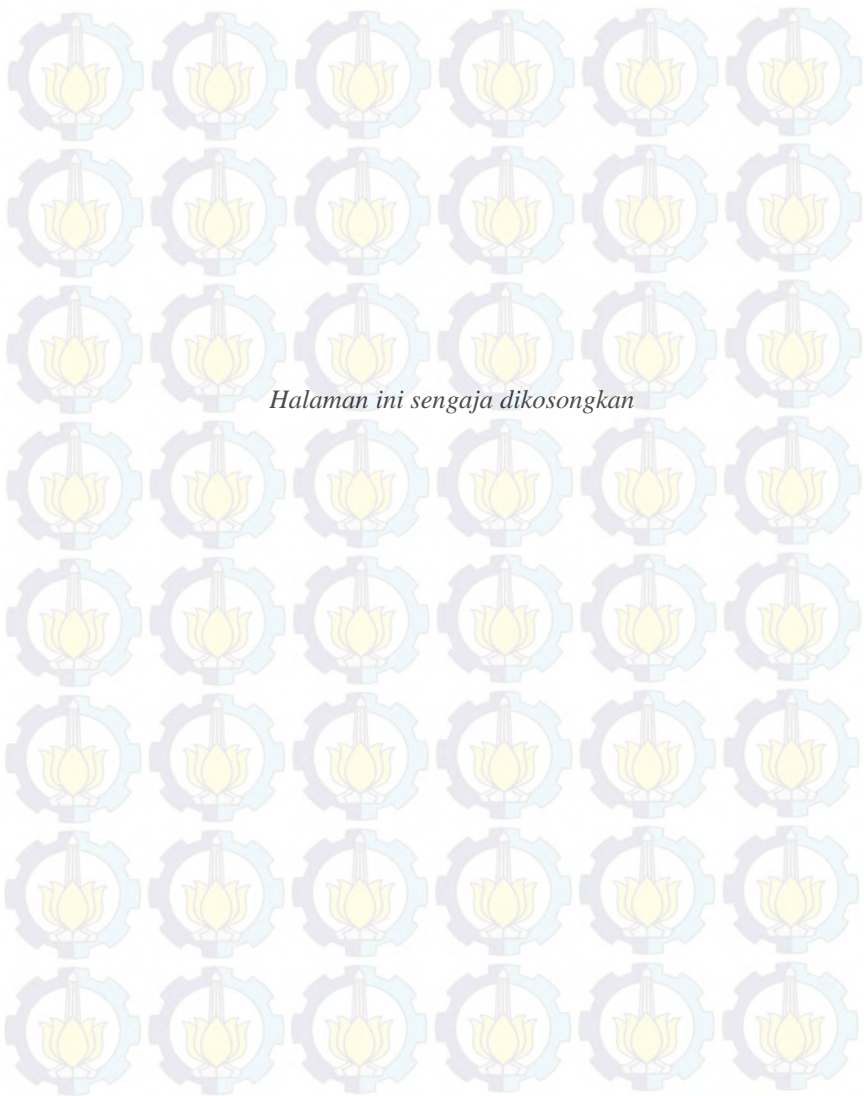
$$BCBV = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

$$[\Delta V] = -[K] \times -[K]' \cdot [ZF_{BR}] \times [I] \quad (2.15)$$

(2.15)

$$\begin{matrix} & \textit{fasa a} & \textit{fasa b} & \textit{fasa c} \\ \textit{fasa a} & Z_{11} & Z_{21} & Z_{31} \\ \textit{fasa b} & Z_{12} & Z_{22} & Z_{32} \\ \textit{fasa c} & Z_{13} & Z_{23} & Z_{33} \end{matrix}$$

[illegible]



## **BAB 3**

### **SISTEM TENAGA LISTRIK BANDARA JUANDA**

#### **3.1 Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda**

Sistem tenaga listrik pada bandara Juanda disuplai dari PLN, dengan 2 sumber utama yaitu dari Sedati dan Pranti dimana pihak PT. Angkasa Pura I berlangganan energi listrik dari PLN dengan kapasitas tegangan 20 KV, frekuensi 50 Hz, 3 phasa, dengan daya listrik masing-masing gardu penyalang berbeda-beda. Gardu penyalang Sedati menyuplai dengan kapasitas daya 9,5 MVA dan kapasitas daya dari PLN yang melalui penyalang Pranti adalah 3,45 MVA. Untuk kemudian jaringan listrik disalurkan ke semua beban yang ada di bandara Juanda Surabaya.

Distribusi di bandara bergantung juga dari kepentingan, kegunaan dan bebannya sendiri. Sebagai contoh, beban KESPEN (keselamatan penerbangan) yang melingkupi semua lampu landasan serta tanda yang berhubungan dengan keselamatan dari penerbangan yang ada di landasan mendapat prioritas utama. Karena menyangkut keselamatan. Selain itu PTB (Passanger Terminal juga mendapat prioritas), namun lebih diutamakan untuk keselamatan penerbangan.

Baik buruknya suatu sistem distribusi dapat dinilai dari beberapa parameter sebagai berikut :

1. Kontinuitas pelayanan

Kontinuitas pelayanan yang baik adalah penyaluran daya yang tidak sering terjadi pemutusan baik karena adanya gangguan maupun akibat hal-hal yang direncanakan seperti perbaikan. Kontinuitas yang baik biasanya diberikan kepada beban-beban penting yang sangat tidak dikehendaki adanya pemadaman. Beban-beban seperti ini contohnya instalasi militer, pelayanan telekomunikasi, rumah sakit, dan lain-lain.

2. Kualitas daya

Kualitas daya yang baik berhubungan dengan beberapa parameter listrik yang sampai ke pelanggan sehingga tidak mengganggu performa peralatan yang ada pada pelanggan seperti tegangan konstan dan nominal (drop tegangan saluran kecil), daya terpenuhi, dan frekuensi yang stabil.



### 3. Perluasan dan penyebaran

Semakin luas daerah yang harus dilayani oleh saluran distribusi/penyulang, maka keseimbangan beban harus benar-benar diperhatikan. Karena pada umumnya sistem distribusi tiga fasa melayani beban-beban yang secara natural tidak seimbang. Sehingga perlu adanya pengaturan konfigurasi saluran yang dapat mengurangi faktor ketidakseimbangan beban pada saluran.

### 4. Pengembangan sistem yang fleksibel

Sistem distribusi yang baik adalah apabila didesain untuk dapat dikembangkan. Sebaiknya setiap penyulang tidak didesain hanya dapat bekerja optimal jika digunakan untuk melayani kebutuhan sesaat. Tetapi harus dapat digunakan untuk melayani perubahan beban apabila terdapat pengembangan jaringan atau daerah yang dilayani diperluas.

### 5. Kondisi dan situasi lingkungan

Faktor ini merupakan pertimbangan yang dilakukan untuk menentukan tipe-tipe saluran distribusi yang cocok untuk diterapkan di suatu daerah. Beberapa contoh pertimbangannya adalah jenis konduktor, konfigurasi, tata letak, dan pertimbangan dari segi estetika.

### 6. Ekonomis

Dalam membangun maupun melakukan pengembangan sistem distribusi harus dipertimbangkan beberapa hal dari segi ekonomi, baik dalam tujuan komersil maupun dalam usaha penghematan anggaran.

## 3.2 Sistem Distribusi Listrik Bandara Juanda

Sistem distribusi yang dipakai oleh PT.Angkasa Pura I selaku penanggung jawab dan pengelola Bandara Juanda merupakan jaringan distribusi tipe radial. Sistem ini memiliki keuntungan dan kekurangan pula. Adapun kelebihan dari sistem ini adalah sederhana dan murah serta lebih mudah dari segi sistem koordinasi pengamannya. Untuk kekurangannya adalah saat terjadi gangguan pada salah satu bus maka suplai daya ke beban akan terputus karena daya yang disalurkan melalui satu *line* saja.

Pada sistem yang ada di Bandara Juanda dalam operasinya dilengkapi dengan beberapa peralatan seperti transformator, relay, circuit breaker yang digunakan untuk masing-masing beban dengan kategori tertentu. Untuk lebih jelas mengenai peralatan transformator yang digunakan pada single line diagram dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Data kapasitas transformator sistem bandara Juanda

No.	ID	KVA	KV
1	T01-POL	1500	20/0,38
2	T01-CHL	2000	20/6,6
3	T01-PTB	2000	20/0,38
4	T02-PTB	2500	20/0,38
5	T01-OB	200	20/0,38
6	T01-CG	500	20/0,38
7	T01-MPH	4500	20/6,6
8	T04-MPH	200	6,6/0,38
9	T01-RA	50	6,6/0,38
10	T1-RC	100	6,6/0,38
11	T01-RB	50	6,6/0,38
12	T01-A2	50	6,6/0,38
13	T01-A1	100	6,6/0,38
14	T02-CG	160	20/0,38
15	T01-WS	315	20/0,38
16	T03-PTB	2500	20/0,38
17	T02-MPH	3000	6,6/20
18	T02-RA	50	6,6/0,38
19	T02-RB	50	6,6/0,38
20	T01-RC	100	6,6/0,38
21	T01-AP1	100	6,6/0,38
22	T02-AP2	100	6,6/0,38
23	T01-SD1	630	6,6/0,38
24	T02-SD2	250	6,6/0,38
25	T03-SD3	400	6,6/0,38
26	T01-R10	160	20/0,38
27	T02-R10	160	20/0,38
28	T03-R10	100	20/6,6
29	TH-10	100	6,6/0,38
30	T01-R28	200	20/0,38
31	T02-R28	200	20/0,38
32	T02-OB	630	20/0,38
33	T2-MPH03	300	20/0,38
34	T1-MPH03	1500	20/20

### 3.3 Kategori Beban

Seperti yang diketahui pada umumnya setiap bandara yang beroperasi baik untuk sipil dan militer disuplai dari jaringan publik yaitu (PLN) dengan tegangan menengah/TM 20 KV dan tegangan rendah/TR, 220/380 V, 50 Hz, 3 phase. Direkomendasikan bahwa suplai jaringan listrik PLN didapat dari 2 (dua) buah *feeder* yang terpisah dan tidak tercampur dengan kebutuhan masyarakat.

Sistem catu daya listrik untuk fasilitas Visual Aids dan Navigasi Radio di bandar udara memerlukan keandalan yang sangat tinggi. seperti lampu runway yang berfungsi sebagai petunjuk sistem pendaratan dan lepas landas pesawat dan beban-beban lainnya baik untuk fasilitas kenyamanan penumpang maupun untuk peralatan navigasi dan komunikasi . Berikut tabel 3.2 adalah data beban pada single Line diagram bandara Juanda:

**Tabel 3.2** Data beban Bandara Juanda *Essential* dan *General*

ID	SERVICE	(kVA)	Keterangan
POL	Pertamina	788	AVTUR
CHL	Cabin Chiller	1093	PUBLIK
PTB-1	Passenger Terminal Building	1287	PUBLIK
PTB-2	Passenger Terminal Building	1287	PUBLIK
PTB-3	Passenger Terminal Building	1287	PUBLIK
AOB	Operational Building I	282	CREW
CG	Cargo	235	PUBLIK
MPH-TO	Main Power Building	18,5	CREW
RA	Parking Area	22,5	PUBLIK
RB	Building Area	22,8	PUBLIK
R28	Run Way 28	110,87	CREW
TH10	Tower Area	50,91	CREW
OB	Operational Building 2	282	CREW
RC	Service Car Area	91,6	PUBLIK
AP-1	Apron	83,37	CREW
AP-2	Apron	96,42	CREW
SD-1	Hanggar-1	891	CREW
SD-2	Hanggar-2	241	CREW
SD-3	Hanggar-3	353	CREW
R10	Run Way 10	144,44	CREW

### 3.3.1 Kategori 1 atau jaringan prioritas

Untuk fasilitas teknikal dan general (umum) diperlukan catu daya yang kontinyu atau terputusnya catu daya hanya diijinkan untuk waktu yang sangat singkat. Jaringan ini harus di back up dengan genset

1. Peralatan prioritas teknikal :

- *Radio Aids*
- *Visual Aids*
- Gedung operasi
- Stasiun observasi MET
- Sebagian dari stasiun Pembangkit (Penerangan dan AC)

2. Peralatan prioritas umum :

- Lampu-lampu signal dan penerangan minimum yang diperlukan bagi petugas ATC dalam melaksanakan tugasnya.
- Seluruh *Obstacle Light* yang dianggap esensial untuk keselamatan operasi pesawat.
- Lampu-lampu *approach*, *runway* dan *taxiway*.
- Peralatan Meteorologi.
- Penerangan untuk fasilitas keamanan yang esensial.
- Perlengkapan yang penting untuk fasilitas keadaan darurat.
- Lampu-lampu penerangan Apron (*Flood Light*).
- AC untuk ruang komputer, terminal penumpang (IAIS, CIS,PAS dan deteksi pemadam kebakaran)
- Check-in area (Ticketing counter, bagasi, konveyor)
- AC restoran, ruang keberangkatan, ruang transit dan kantor
- Lemari pendingin (Kulkas) restoran
- Sistem penerangan terminal
- *Waterplan* dan *water storage*
- Penerangan apron (*Flood light*)
- Gedung VVIP
- Stasiun Pemadam kebakaran
- *Boarding bridges* (Garbarata)

### 3.3.2 Kategori 2 atau jaringan general

Fasilitas *general* keadaan normal akan disuplai dari PLN dengan tegangan menengah atau tegangan rendah. Fasilitas ini tidak menuntut catu daya kontinyu dan akan tetap mati bila catu daya utama (PLN) putus.

- Sebagian/keseluruhan AC
- Sebagian penerangan terminal penumpang dan gedung umum
- Penerangan untuk sebagian jalan dan parkir



- Instalasi komersiel

### 3.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu pada SLD bandara Juanda Surabaya dengan jaringan distribusi radial. Data tersebut akan diolah dengan menggunakan analisis aliran daya sehingga dapat diketahui parameter tiap bus yang kemudian di analisa dengan metode *continuous power flow* (CPF) dengan penambahan *secant predictor* sehingga didapatkan titik pembebanan maksimum dari tiap bus dan mengetahui drop tegangan yang terjadi.

### 3.5 Continuous Power Flow (CPF)

Proses solusi prediktor-korektor dimulai dalam proses pengolahan kurva PV sampai kondisi pembebanan maksimum. Pertama, Metode *secant predictor* diterapkan untuk menghitung tegangan tiga fase sepanjang proses pembentukan kurva PV, berdasarkan inisialisasi awal solusi aliran daya berturut turut, maka mereka dikoreksi menggunakan aliran daya radial dengan solusi iteratif. Solusi aliran daya berulang berlanjut sampai toleransi ketidak cocokan yang telah ditetapkan adalah sama yaitu:

$$\Delta P_i^m < \varepsilon_{PF} \quad (3.1)$$

$$\Delta Q_i^m < \varepsilon_{PF} \quad (3.2)$$

Dimana  $\Delta P_i$  dan  $\Delta Q_i$  adalah ketidak sesuaian daya aktif dan reaktif di bus i, m mengacu pada fase a, b atau c dan  $\varepsilon_{PF}$  adalah aliran daya dengan toleransi yang telah ditetapkan.

Kemudian untuk menghitung dua titik pertama pada kurva digunakan *Adaptive step*. Namun, ukuran step yaitu dikontrol dengan persamaan sebagai berikut :

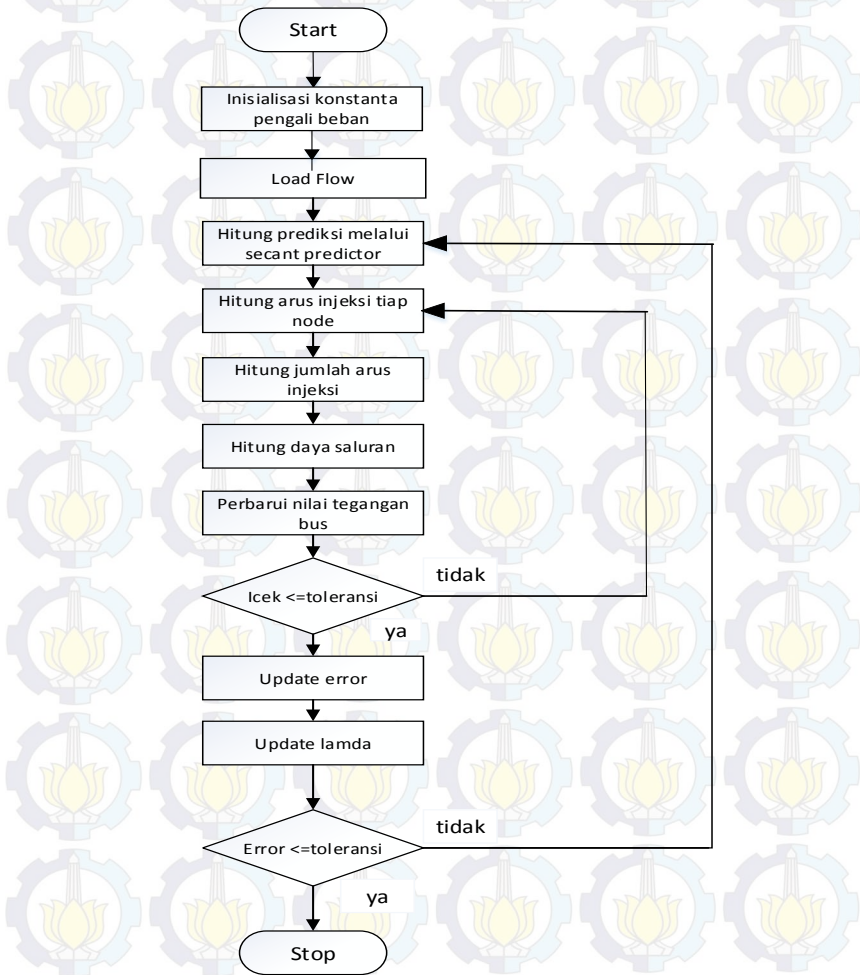
$$\sigma_{k+1} = \sigma_k \frac{C}{n_k} \quad (3.3)$$

$$\lambda_{k+1} = \sigma_k + \lambda_k \quad (3.4)$$

Dimana C adalah parameter ukuran kontrol dan  $n_k$  adalah besar nomer iterasi aliran daya di k. Akibatnya, sebagai korektor akan terlihat

solusi ke konvergensi dari daya-aliran, ukuran langkah diperbarui sesuai dengan persamaan diatas dan kemudian parameter yang baru dihitung seperti yang diberikan oleh persamaan (3.4).

Proses solusi prediktor-korektor dijelaskan pada Gambar 2.8 berdasarkan formulasi matematis



Gambar 2.8 Continuous power-flow analysis solution process



## BAB 4

### HASIL SIMULASI DAN ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA BANDARA JUANDA

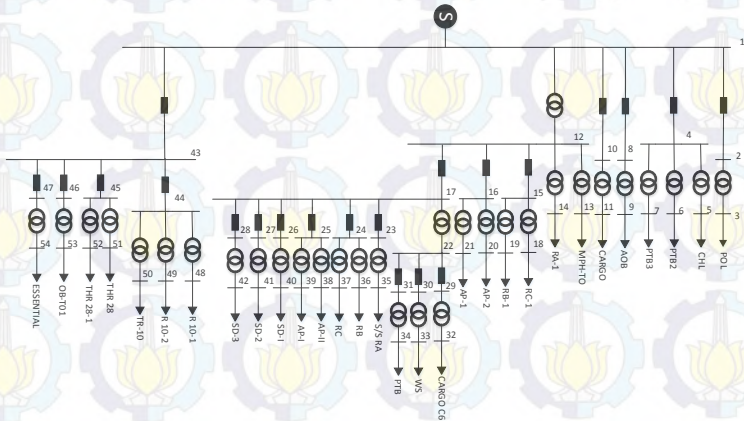
#### 4.1 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda

Pemodelan sistem tenaga listrik pada Bandara Juanda Surabaya dilakukan dengan cara membuat Analisis aliran daya pada *software Matlab*. Langkah pertama pembuatan aliran daya tersebut adalah mengumpulkan data yang meliputi data transformator, bus, beban, setoran rele *existing*, dan sistem pentanahan.

Dari pembuatan aliran daya tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Setelah pemodelan selesai dilakukan langkah selanjutnya adalah dengan melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui keadaan sistem pada saat *steady state*. Dari analisis ini dapat diketahui tegangan bus, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik, tegangan jatuh, dan aliran daya *existing* pada sistem distribusi Bandara Juanda.

Disini untuk menentukan kestabilan pada sistem distribusi Bandara Juanda langkah pertama adalah dengan mendapatkan data-data indikator yang di dapatkan dari analisis aliran daya yang kemudian di olah lagi ke dalam metode Continuous power flow untuk mengetahui tegangan jatuh pada sistem dan untuk mengetahui pada bus mana yang memiliki sensitivitas terhadap adanya perubahan beban pada sistem.

Berikut adalah Single Line Diagram Bandara Juanda:



Gambar 4.1 Single Line Diagram Bandara Juanda



## 4.2 Analisis Stabilitas Tegangan bandara Juanda

Analisis aliran daya menggunakan metode forward/backward dapat digunakan untuk mendapatkan akurasi pencarian nilai tegangan khusus pada saluran distribusi radial.

Dalam proses penentuan kestabilan pada tiap cabang di sistem distribusi bandara Juanda maka terlihat pada bus mana yang memiliki sensitivitas terhadap terjadinya perubahan beban.

Berikut ini hasil aliran daya pada sistem distribusi bandara Juanda

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara Juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
1	1	0	966.8939	0
1	1	-120	895.2029	0
1	1	120	866.1403	0
2	0.94143	0.5692	966.8939	1.1713
2	0.84548	-119.176	895.2029	3.0904
2	0.89673	120.973	866.1403	2.0654
3	0.94144	0.5736	56.0774	1.1711
3	0.84544	-119.2	52.7088	3.0913
3	0.89674	120.9776	71.6967	2.0652
4	0.89892	1.2701	252.8903	2.0215
4	0.79902	-120.803	259.5734	4.0195
4	0.8543	121.7306	255.5004	2.9139
5	0.89897	1.2905	113.392	2.0206
5	0.79886	-120.916	52.3989	4.0229
5	0.85435	121.7521	72.2761	2.9129
6	0.89897	1.2926	58.5889	2.0207
6	0.79888	-120.927	90.9904	4.0224
6	0.85435	121.7542	111.8983	2.913
7	0.89897	1.2931	80.9438	2.0205
7	0.79885	-120.931	116.2017	4.023
7	0.85436	121.7548	71.3456	2.9129

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
8	0.9348	0.6942	38.5988	1.3039
8	0.83794	-119.458	19.0774	3.2412
8	0.89011	121.1072	63.1262	2.1978
9	0.93481	0.6971	38.5988	1.3038
9	0.83791	-119.474	19.0774	3.2419
9	0.89012	121.1103	63.1262	2.1976
10	0.93515	0.7466	18.9687	1.2969
10	0.83836	-119.123	65.8791	3.2329
10	0.89047	121.1622	38.463	2.1906
11	0.93521	0.7545	18.9687	1.2959
11	0.83811	-119.166	65.8791	3.2379
11	0.89052	121.1704	38.463	2.1896
12	0.94151	0.6019	562.7165	1.1699
12	0.84512	-119.354	456.5061	3.0976
12	0.8968	121.0073	409.0518	2.0639
13	0.94151	0.6026	9.5664	1.1698
13	0.84511	-119.358	3.5604	3.0977
13	0.89681	121.0081	1.1139	2.0639
14	0.94151	0.6036	1.4848	1.1698
14	0.8451	-119.363	30.1623	3.0981
14	0.89681	121.0091	13.0855	2.0638
15	0.93834	0.6352	30.134	1.2332
15	0.8419	-119.345	31.2909	3.1621
15	0.89364	121.0437	51.7734	2.1271
16	0.93648	0.6621	56.5488	1.2704
16	0.83988	-119.384	43.9678	3.2023
16	0.89178	121.0728	79.976	2.1643

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
17	0.91161	1.0081	464.9947	1.7677
17	0.8133	-119.955	347.6851	3.7339
17	0.86696	121.4484	263.2173	2.6608
18	0.93835	0.6364	26.7524	1.2331
18	0.84188	-119.352	17.9213	3.1624
18	0.89365	121.045	5.5918	2.127
19	0.93837	0.6475	3.3958	1.2326
19	0.84175	-119.412	13.3698	3.1649
19	0.89367	121.0566	46.1829	2.1265
20	0.93648	0.6642	6.8316	1.2703
20	0.83986	-119.396	29.1899	3.2029
20	0.89179	121.075	51.1464	2.1642
21	0.93649	0.6685	49.7172	1.2701
21	0.83982	-119.42	14.782	3.2037
21	0.8918	121.0795	28.8296	2.164
22	0.91173	1.0614	284.1661	1.7654
22	0.81281	-120.248	198.0462	3.7438
22	0.86709	121.5044	146.9741	2.6583
23	0.90966	1.0273	16.4662	1.8067
23	0.81133	-119.948	28.8466	3.7735
23	0.86501	121.4696	23.9328	2.6997
24	0.90925	1.0365	30.5602	1.8151
24	0.81084	-119.976	14.0673	3.7832
24	0.8646	121.4795	5.8473	2.7081
25	0.90962	1.0316	8.7909	1.8075
25	0.81233	-119.984	13.8018	3.7535
25	0.8654	121.4701	10.4009	2.692



**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
26	0.90893	1.0369	70.6221	1.8213
26	0.81054	-119.973	62.1329	3.7891
26	0.86429	121.48	46.7572	2.7143
27	0.91095	1.0153	10.5104	1.781
27	0.81262	-119.964	17.6952	3.7477
27	0.8663	121.4563	16.1519	2.674
28	0.91015	1.0248	43.9006	1.797
28	0.81179	-119.959	13.1803	3.7641
28	0.8655	121.4668	13.2353	2.69
29	0.90226	1.1896	68.589	1.9549
29	0.80287	-120.348	45.8929	3.9426
29	0.85763	121.6442	56.044	2.8475
30	0.90051	1.1689	89.7989	1.9897
30	0.80141	-120.24	60.8504	3.9718
30	0.85588	121.6233	49.402	2.8824
31	0.89722	1.1995	125.8024	2.0556
31	0.79814	-120.184	91.3094	4.0372
31	0.85259	121.6572	41.5289	2.9481
32	0.90256	1.3102	68.589	1.9489
32	0.80172	-121.014	45.8929	3.9657
32	0.85794	121.7709	56.044	2.8412
33	0.90081	1.3111	89.7989	1.9838
33	0.80031	-121.025	60.8504	3.9938
33	0.8562	121.7728	49.402	2.8761
34	0.89763	1.3838	125.8024	2.0474
34	0.79663	-121.203	91.3094	4.0674
34	0.85303	121.851	41.5289	2.9395



**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
35	0.90967	1.0291	16.4662	1.8067
35	0.81131	-119.957	28.8466	3.7738
35	0.86502	121.4714	23.9328	2.6997
36	0.90925	1.0372	22.6375	1.815
36	0.81084	-119.98	8.8745	3.7833
36	0.8646	121.4802	2.8419	2.708
37	0.90925	1.0379	7.9233	1.815
37	0.81083	-119.984	5.1944	3.7834
37	0.8646	121.4809	3.015	2.708
38	0.90963	1.032	3.7332	1.8075
38	0.81232	-119.987	6.1586	3.7535
38	0.8654	121.4706	7.8508	2.692
39	0.90963	1.0338	5.058	1.8074
39	0.81231	-119.997	7.6433	3.7539
39	0.8654	121.4725	2.5517	2.6919
40	0.90895	1.0449	70.6221	1.821
40	0.81048	-120.017	62.1329	3.7905
40	0.8643	121.4884	46.7572	2.7139
41	0.91096	1.0191	10.5104	1.7808
41	0.81259	-119.984	17.6952	3.7482
41	0.86631	121.4603	16.1519	2.6739
42	0.91015	1.0276	43.9006	1.7969
42	0.81177	-119.974	13.1803	3.7647
42	0.8655	121.4696	13.2353	2.6899
43	0.9351	0.6278	41.2321	1.2981
43	0.83907	-119.147	42.8335	3.2186
43	0.8904	121.0375	28.8374	2.1921

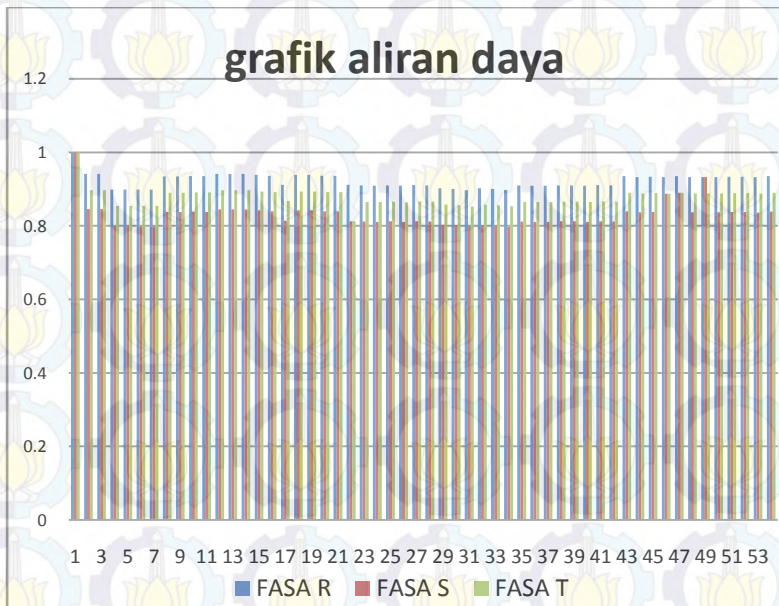
**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
44	0.9329	0.6456	10.3009	1.342
44	0.83687	-119.133	12.9096	3.2627
44	0.88821	121.0571	15.7449	2.2359
45	0.9337	0.6404	9.2127	1.326
45	0.83765	-119.144	8.8405	3.2469
45	0.889	121.0513	6.7446	2.2199
46	0.93249	0.6618	21.5053	1.3503
46	0.83632	-119.169	20.3693	3.2735
46	0.88779	121.0743	5.0213	2.2441
47	0.93497	0.629	0.2151	1.3007
47	0.83894	-119.147	0.715	3.2212
47	0.89027	121.0387	1.3476	2.1946
48	0.9329	0.6467	2.1478	1.3419
48	0.83685	-119.14	4.7746	3.2629
48	0.88821	121.0583	6.7537	2.2358
49	0.9329	0.6459	6.4302	1.3419
49	0.83686	-119.135	2.3942	3.2628
49	0.88821	121.0574	4.4985	2.2359
50	0.93291	0.6479	1.7246	1.3419
50	0.83684	-119.146	5.7417	3.2632
50	0.88821	121.0596	4.4933	2.2358
51	0.93371	0.6422	5.3613	1.3259
51	0.83764	-119.154	2.8646	3.2473
51	0.88901	121.0531	4.0456	2.2198
52	0.9337	0.641	3.8519	1.3259
52	0.83765	-119.148	5.9761	3.247
52	0.88901	121.052	2.6991	2.2199

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
53	0.9325	0.6656	21.5053	1.3501
53	0.83628	-119.19	20.3693	3.2745
53	0.8878	121.0784	5.0213	2.2439
54	0.93497	0.6291	0.2151	1.3007
54	0.83894	-119.148	0.715	3.2212
54	0.89027	121.0389	1.3476	2.1946

Rugi-Rugi sebesar 140.644 kW



**Gambar 4.2** Grafik tegangan dari aliran daya sistem distribusi bandara juanda

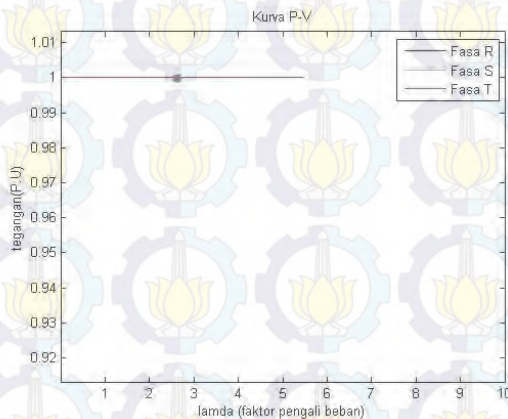


Dari analisa aliran daya di atas dapat di ketahui dengan menambahkan metode secant predictor dimana pada metode ini terjadi proses predictor dan corrector yang dapat membantu proses penentuan titik penggambaran pada kurva P-V sehingga didapat jumlah iterasi yang cukup singkat yaitu antara 7 hingga 8 kali dan waktu *running program* yang cukup cepat yaitu sekitar 70 detik pada konfigurasi sistem distribusi radial 54 bus pada bandara juanda

Pada bus 1 tidak terjadi drop tegangan pada fasa R,S maupun T dikarenakan pada bus 1 tidak terjadi perubahan beban,karena bus 1 berada pada awal percabangan dan untuk bus yang mengalami drop tegangan yang besar adalah pada bus 32,33,dan bus 34 karena bus tersebut memiliki beban yang relative besar dan jarak yang jauh dari sumber.

Untuk mengetahui lebih lanjut analisa kestabilan sistem distribusi bandara juanda dapat dilihat melalui kurva P-V dari tiap bus yang terhubung langsung dengan beban sebagai berikut

### 1. Bus 1

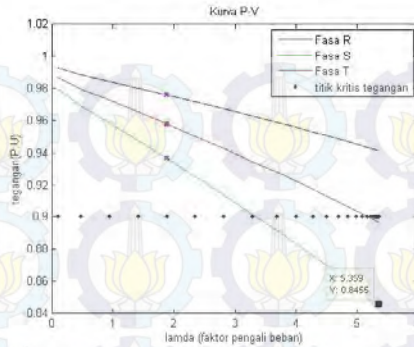


**Gambar 4.3** Kurva P-V bus 1

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 1 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan sebesar 1 pu tanpa mengalami drop tegangan hingga lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 3 kali dari beban nominal sistem



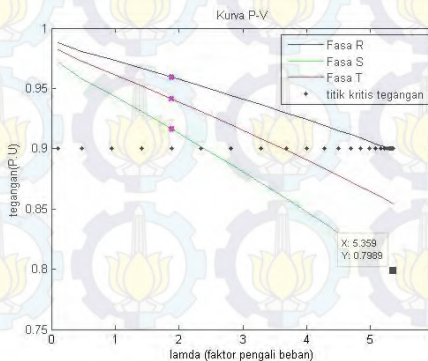
## 2. Bus 3



**Gambar 4.4** Kurva P-V bus 3

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 3 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,945 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,845 pu serta fasa T yaitu 0,895 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2 kali dari beban nominal sistem

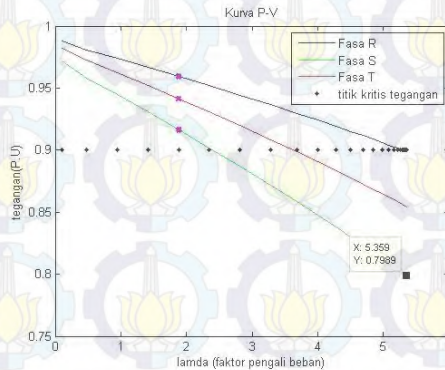
## 3. Bus 5



**Gambar 4.5** Kurva P-V bus 5

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 5 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,9 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,798 pu serta fasa T yaitu 0,85 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2 kali dari beban nominal sistem.

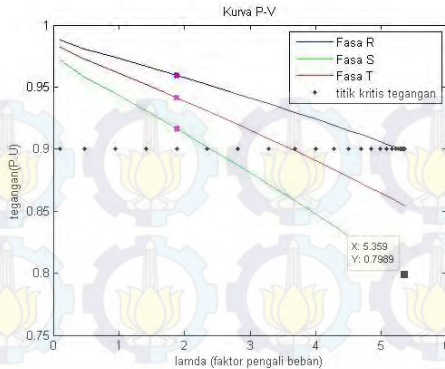
#### 4. Bus 6



**Gambar 4.6** Kurva P-V bus 6

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 6 memiliki hasil yang sama dengan bus 5 pada sistem distribusi bandara juanda.

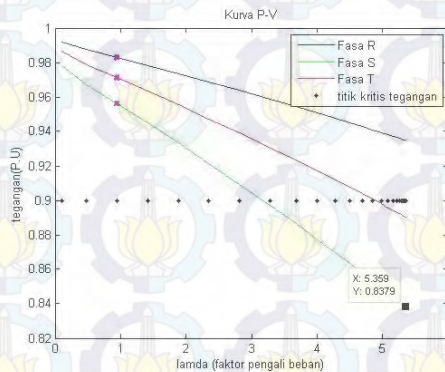
#### 5. Bus 7



**Gambar 4.7** Kurva P-V bus 7

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 7 memiliki hasil yang sama dengan bus 5 dan bus 6 pada sistem distribusi bandara juanda.

#### 6. Bus 9

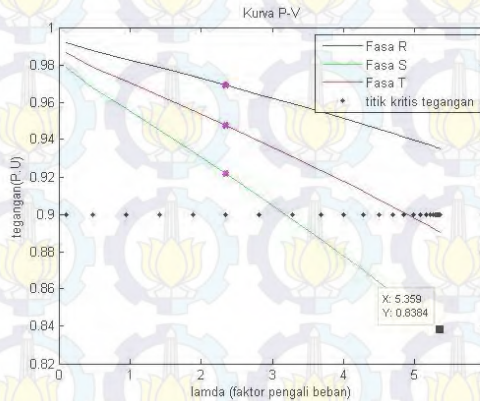


**Gambar 4.8** Kurva P-V bus 9

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 9 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,94 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8379 pu serta fasa T yaitu 0,885 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan

nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 1,1 kali dari beban nominal sistem.

## 7. Bus 11

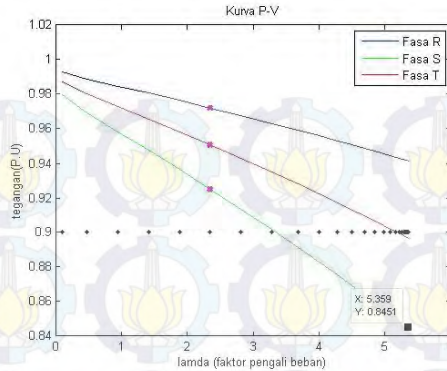


**Gambar 4.9** Kurva P-V bus 11

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 11 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,94 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8384 pu serta fasa T yaitu 0,887 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2,4 kali dari beban nominal sistem.

## 8. Bus 13

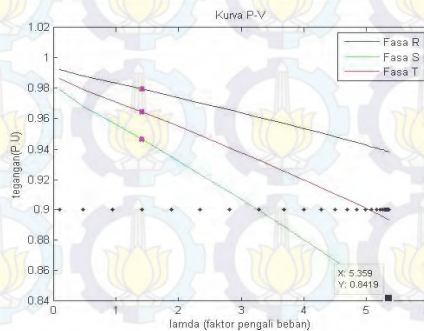




**Gambar 4.10** Kurva P-V bus 13

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 13 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,945 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8451 pu serta fasa T yaitu 0,887 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2,4 kali dari beban nominal sistem.

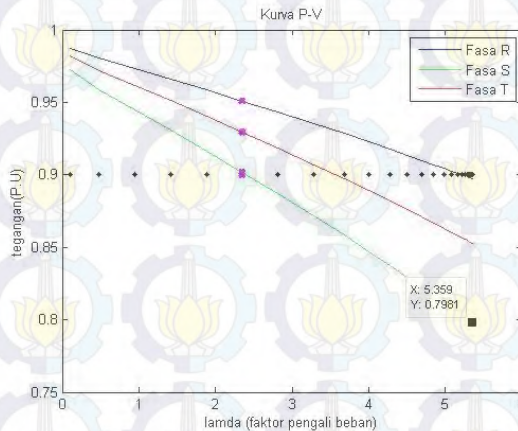
## 9. Bus 18



**Gambar 4.11** Kurva P-V bus 18

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 18 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,94 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8419 pu serta fasa T yaitu 0,885 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 1,5 kali dari beban nominal sistem.

#### 10. Bus 32



**Gambar 4.12** Kurva P-V bus 32

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 32 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,889 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,7981 pu serta fasa T yaitu 0,85 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2,4 kali dari beban nominal sistem.

Dari data hasil simulasi yang telah di dapatkan bahwa kestabilan pada suatu bus atau sistem dapat dipengaruhi dari jarak beban dengan sumbernya atau dapat dikatakan bahwa semakin jauh jarak suatu bus dari sumber maka drop tegangan akan semakin besar.

Dan dengan mengetahui data dari setiap bus pada analisis stabilitas ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan sistem kedepan dimana titik percabangan yang dapat di tambahkan lagi beban dan yang tidak.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 H.Kersting, William, "Distribution System Modeling and Analysis", CRC PRESS, Florida, 2002.
- 2 Penangsang, Ontoseno. "*Analisis Aliran Daya*". ITS Press, Surabaya, 2006.
- 3 Kundur, P. "*Voltage Stability, Power System stability and control*". 959-1019.1994.
- 4 Saadat, Hadi. "*Power System Analysis (Second Edition)*", McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
- 5 Marsudi, Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- 6 Jen-Hao TENG, "A Network-Topology-based Three Phase Load Flow for Distribution Systems", Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A) Vol.24, No.4, 2000.pp.259-264
- 7 Abdel-Akher,Mamdouh," *Voltage stability analysis of unbalanced distribution systems using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor*". IET Gener. Transm. Distrib., 2013, Vol. 7, Iss. 3, pp. 309–317 309 doi: 10.1049/iet-gtd.2012.0360
- 8 Permen ESDM No. 04 2009
- 9 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electirc Power Quality, 1159-1995
- 10 Priambodo,Pungki "*Analisis aliran daya tiga fasa tidak seimbang menggunakan metode k-matrik dan  $z_{br}$  pada sistem distribusi 20kv kota Surabaya*"Digilib.its,Surabaya,2013





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dengan menggunakan metode Continuous Power Flow (CPF) kita dapat mengetahui bus mana yang lebih stabil dengan penambahan beban secara bertahap.
- Metode analisis aliran daya menggunakan metode K-matrik memiliki konvergensi yang cepat. Untuk sistem distribusi Bandara Juanda membutuhkan 7 hingga 8 kali iterasi.
- Analisis aliran daya menggunakan Continuous Power Flow yang di kombinasikan dengan *Secant Predictor* dapat mempermudah studi dengan cara penyederhanaan penelusuran jalur saluran distribusi Bandara Juanda.
- Kurva P-V memudahkan kita untuk mengetahui Bus dan Fasa yang mengalami tegangan jatuh (voltage collapse)

#### **5.2 SARAN**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Setelah mengetahui Bus yang mengalami tegangan jatuh (voltage collapse) di harapkan dapat dilakukan langkah selanjutnya yaitu dengan menambahkan kapasitor atau perbaikan kualitas daya
- Program analisis aliran daya yang telah dikembangkan hanya dapat digunakan untuk sistem distribusi pasif. Sehingga tidak dapat mengakomodir adanya pembangkitan di sisi distribusi. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan metode yang sama dengan modifikasi program untuk mengakomodir adanya bus generator pada sistem distribusi.
- Metode K-matrik dapat digunakan pada aplikasi riil untuk sistem monitoring sistem distribusi tenaga listrik.



# **voltage stability analysis of unbalanced distribution system using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor in juanda airport**

Novian Patria Uman Putra  
2213 105 089

Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Supervisor II : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

## **Abstract:**

*Generating system which has been built at Juanda Airport is to supply an electrical distribution system in the area of Juanda Airport. Juanda got the electricity supply of 9.5 MVA of substation feeder Sedati, and 3.45 MVA of Pranti. To then be distributed to all the electrical grid load in Juanda Airport. Juanda airport electricity distribution is radial type and generally have a great number of branches as well as the degree of unbalanced of three-phase system, it takes a required method for analyze accurately of unbalanced power flow. One of method that is currently being developed is a forward backward sweep method combine with the secant predictor to get the PV curve for looking voltage and current values of each branch so that it can be seen in the branch which can be coupled to the load and for future development of the airport.*

**Keyword :** *distribution system ,load flow, unbalanced load, forward backward, secant predictor*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, sehingga buku tugas akhir ini dapat terselesaikan. Dan juga tidak lupa penyusun menyadari bahwa ini semua juga atas bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu dengan penuh rasa hormat dan rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan berkat, petunjuk jalan kebenaran, iman dan islam serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Syafaat Muhammad Rasulullah SAW.
3. Kepada kedua orang tua yang telah memberikan dukungan dan doa serta Pak umen sebagai dosen dan kakak yang telah membantu.
4. Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT dan Bapak Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. atas bimbingan selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen penguji atas arahan dan kritikan yang telah diberikan demi kesempurnaan alat yang kami buat.
6. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
7. Kepada pacar tercinta “anggit perwitasuci lestari” yang telah cerewet ngajak nikah selama ini hingga saya termotivasi.
8. Kepada mbahurekso yang telah memotivasi saya agar dari bukan siapa-siapa menjadi seperti sekarang.
9. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2013 semester ganjil khususnya bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan teman-teman seperjuangan dan yang membantu dalam proses pengerjaan asisten Laboratorium B103 atas bantuan dan dukungannya.
10. Teman-teman di Angkasapura I Juanda.

Akhir kata, segala kritik dan saran sangat saya harapkan untuk pengembangan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2015

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Tugas Akhir .....	1
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika .....	3
1.6 Relevansi .....	4
 <b>BAB II SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Besaran Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1.1 Tegangan .....	5
2.1.1.2 Arus Listrik .....	5
2.1.1.3 Daya Listrik .....	5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	7
2.2.1 Sistem Distribusi Radial .....	7
2.2.2 Sistem Distribusi Tak Seimbang .....	10
2.3 Konsep dasar dan definisi kestabilan .....	11
2.3.1 Kestabilan Tegangan .....	11
2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V .....	12
2.4 Definisi Tegangan Jatuh ( <i>Voltage Collapse</i> ) .....	13
2.5 Analisis Aliran Daya .....	13
2.6 Metode Analisis Aliran Daya .....	15
2.6.1 Metode $Z_{BR}$ .....	15

### **BAB III SISTEM TENAGA LISTRIK BANDARA JUANDA**

3.1 Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda.....	23
3.2 Sistem Distribusi Listrik Bandara Juanda .....	24
3.3 Kategori Beban .....	26
3.3.1 Kategori 1 atau jaringan Prioritas .....	27
3.3.2 Kategori 2 atau jaringan General .....	27
3.4 Pengumpulan Data .....	28
3.5 Continuous Power Flow .....	28

### **BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA BANDARA JUANDA**

4.1 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda .....	31
4.2 Analisis Stabilitas Tegangan Bandara Juanda .....	31

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57

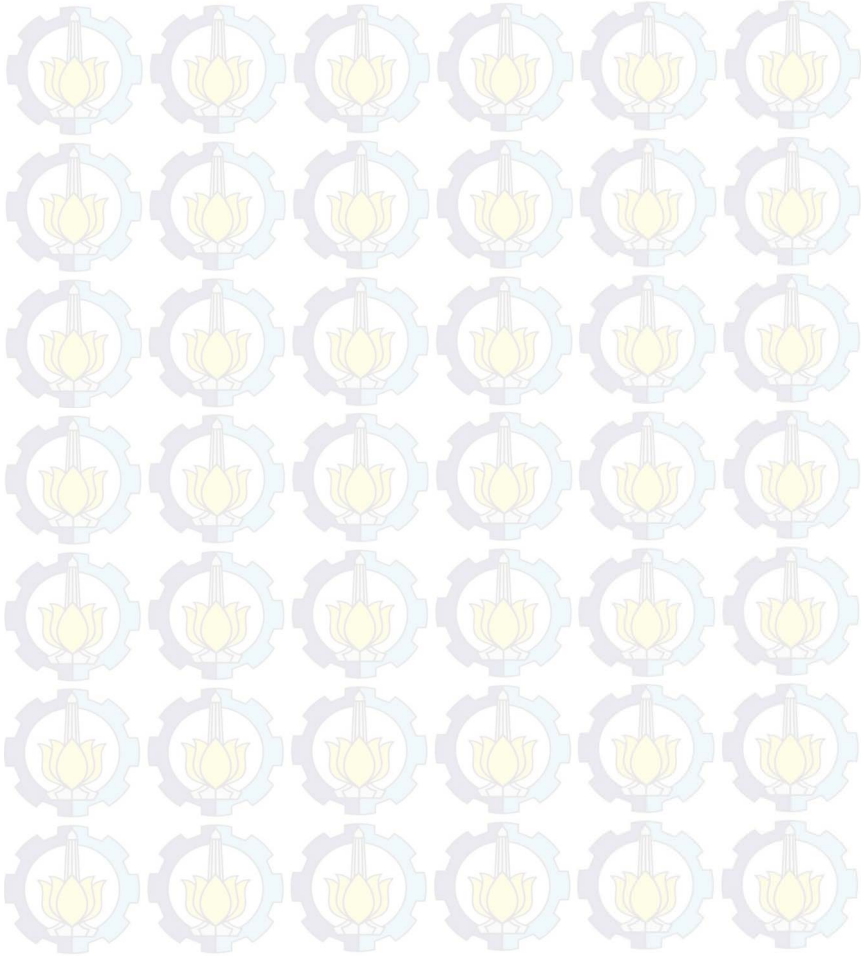
### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

### **RIWAYAT HIDUP PENULIS**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penggolongan Tegangan .....	32
Tabel 3.1 Data kapasitas transformator sistem bandara juanda .....	25
Tabel 3.2 Data Beban Bandara juanda .....	26
Tabel 4.1 Data Hasil analisis aliran daya Sistem bandara juanda .....	32





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Flowchart .....	3
Gambar 2.1 Segitiga Daya .....	6
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi radial tipe pohon .....	9
Gambar 2.3 Urutan positif,negative,nol .....	10
Gambar 2.4 Bentuk dan karakteristik kurva P-V .....	12
Gambar 2.5 Single Line Diagram contoh analisis menggunakan network topology .....	16
Gambar 2.6 Contoh Rangkaian 3 Fasa untuk membentuk matrik $Z_{BR}$ .....	18
Gambar 2.7 Single Line Diagram contoh analisis menggunakan metode K-matrik .....	19
Gambar 2.8 Continuous Power Flow .....	29
Gambar 4.1 Single Line Diagram Bandara Juanda .....	31
Gambar 4.2 Grafik tegangan .....	38
Gambar 4.3 Kurva P-V bus 1 .....	39
Gambar 4.4 Kurva P-V bus 3 .....	40
Gambar 4.5 Kurva P-V bus 5 .....	40
Gambar 4.6 Kurva P-V bus 6 .....	41
Gambar 4.7 Kurva P-V bus 7 .....	42
Gambar 4.8 Kurva P-V bus 9 .....	42
Gambar 4.9 Kurva P-V bus 11 .....	43
Gambar 4.10 Kurva P-V bus 13 .....	44
Gambar 4.11 Kurva P-V bus 18 .....	44
Gambar 4.12 Kurva P-V bus 32 .....	45

## BIOGRAFI PENULIS



Novian Patria Uman Putra dan biasa dipanggil Umen lahir di Surabaya pada tanggal 11 Nopember 1990. Penulis menempuh Sekolah dasar di SDN Mojo 4 di Surabaya selama 6 tahun, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Surabaya selama 3 tahun, serta menempuh pendidikan di SMAN 7 Surabaya selama 3 tahun. Setelah lulus dari SMA, Penulis sempat kuliah di S-1 teknik mesin ITS selama 2 tahun tetapi kemudian penulis kuliah Program Diploma 3 (D3) jurusan Teknik Elektro Industri di PENS-ITS Surabaya selama 3 tahun dan lulus tahun 2013. Setelah menyelesaikan program Diploma 3, penulis melanjutkan kuliah Program Strata 1 (S1) jurusan Teknik Elektro di ITS Surabaya. Penulis hobi bermain DOTA dengan teman teman kampus, jika ada keperluan bisa menghubungi di email [novian\\_umen@yahoo.com](mailto:novian_umen@yahoo.com)



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Stabilitas sistem tenaga telah menjadi perhatian utama dalam sebuah sistem operasi. Perhatian itu muncul dari fakta bahwa pada kondisi operasi sistem dan beban yang tidak seimbang dapat mempengaruhi batas kestabilan suatu sistem.

Metode yang telah digunakan adalah dengan penentuan titik kestabilan dengan menggunakan backward/forward sweep dimana dengan proses perhitungan metode ini memerlukan waktu yang cukup lama dan proses yang cukup rumit. Oleh karena itu dengan penambahan kontrol adaptif pada perhitungan yaitu secant predictor diharapkan dapat mengurangi waktu proses penentuan titik MLP pada kurva, sehingga bila beban tidak seimbang seiring perubahan waktu dapat diketahui dengan cepat sehingga kondisi sistem yang sedang berjalan apakah masih tetap stabil atau tidak.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan parameter, predictor, dan corrector pada sistem distribusi bandara Juanda.
2. Bagaimana mengetahui kestabilan sistem bandara Juanda.
3. Menentukan nilai tegangan, dan arus tiap bus tiap fasa.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Mendapatkan matriks impedansi serta grafik kurva PV.
2. Menghitung analisis aliran daya tiga fasa sistem distribusi.
3. Mengetahui perbandingan metode analisis aliran daya yang digunakan dengan analisis aliran daya klasik.



## 1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### 1. Pengambilan Data

Pada awal penelitian dikumpulkan data-data dalam melakukan analisis data berupa single line diagram, data beban (P dan Q), serta impedansi saluran pada tiap penyulang. Semua data diinputkan dalam program *power flow* menggunakan *software* Matlab.

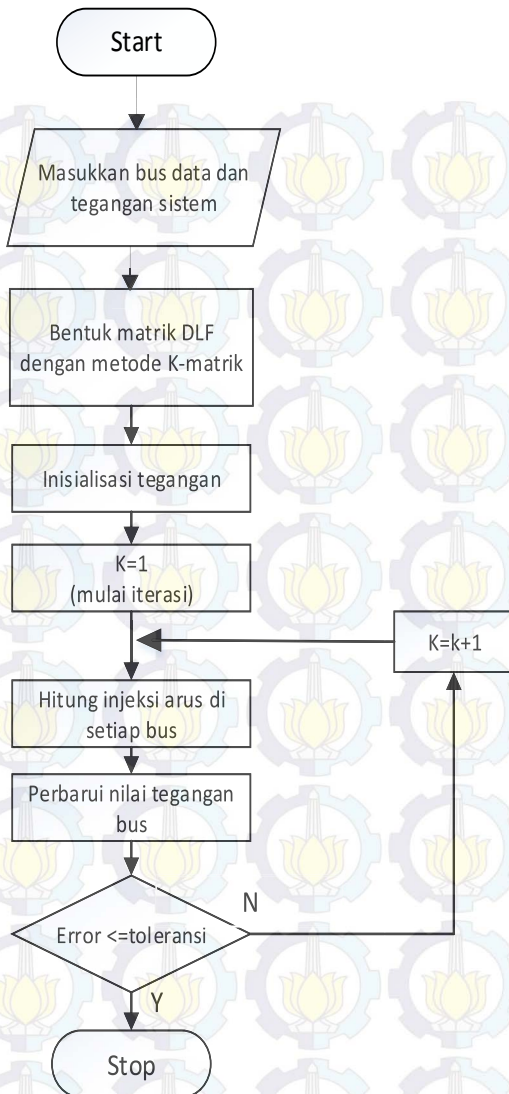
### 2. Simulasi dan Analisis Data

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan alur aliran arus di setiap penyulang kemudian direpresentasikan dalam bentuk K-matriks. K-matriks yang telah terbentuk dikonversikan menjadi matriks *BIBC* dan *BCBV* sesuai dengan persamaan. Untuk perhitungan aliran daya tiga fasa tidak seimbang dimasukkan parameter *Bus data*. Langkah berikutnya adalah dengan menghitung besar drop tegangan pada tiap bus pada sistem dengan menggunakan matriks *DLF*. Untuk mendapatkan nilai tegangan bus digunakan tegangan tanpa beban dikurangi hasil perhitungan drop tegangan. Kemudian akan didapatkan besar arus yang mengalir pada tiap *branch* (cabang). Untuk mendapatkan hasil yang akurat, proses perhitungan tersebut diulang dengan menggunakan ketentuan iterasi besar *error* arus yang terbaru dengan hasil arus perhitungan sebelumnya lebih dari ekspektasi toleransi perhitungan.

Hasil perhitungan menggunakan metode K-matriks dan ZBR akan ditambahkan dengan metode Continuous Power Flow (CPF) sehingga dapat diketahui kestabilan tegangan pada sistem dan mengetahui di bus mana yang mengalami *voltage collapse* terlebih dahulu.

### 3. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisa data dan perbandingan metode yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.



**Gambar 1.1** Flow chart penyelesaian tugas akhir

## 1.5 Sistematika

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Kestabilan tegangan

Bab ini membahas kestabilan sistem tenaga listrik yang dapat didefinisikan secara umum sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sistem pada kondisi normal setelah sistem mengalami gangguan.

Bab 3 : Sistem Tenaga Listrik bandara Juanda

Bab ini membahas mengenai sistem Tenaga listrik Bandara Juanda dari sumber hingga beban yang akan dijadikan objek penelitian.

Bab 4 : Hasil simulasi dan analisis stabilitas tegangan pada bandara juanda

Bab ini membahas hasil perhitungan analisis aliran daya pada sistem Distribusi Bandara Juanda dan dengan membandingkan hasilnya dengan metode yang telah ada.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

## 1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi ataupun dapat menjadi tugas akhir selanjutnya bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian yang berhubungan dengan analisis yang dilakukan penulis.
2. Dapat menjadi dasar pertimbangan bagi PT.Angkasapura atau pihak pengembang sistem distribusi Bandara untuk mengetahui kondisi real sistem yang telah ada,dan dapat digunakan untuk tujuan monitoring data pada sistem.

## **BAB 2**

### **SISTEM TENAGA LISTRIK**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Energi listrik merupakan jenis energi yang paling efisien dan efektif untuk dibangkitkan dan didistribusikan untuk keperluan masyarakat. Energi listrik diperoleh dari hasil konversi energi primer seperti energi panas, energi potensial, energi mekanik dan lain-lain. Sehingga dalam proses pembangkitan maupun rekayasanya, banyak parameter maupun besaran yang harus diperhatikan.

##### **2.1.1 Besaran Sistem Tenaga Listrik**

Untuk mempelajari dan menganalisis suatu sistem tenaga listrik wajib diketahui beberapa parameter maupun besaran yang ada untuk mengetahui gejala-gejala listrik yang ada.

###### **2.1.1.1 Tegangan**

Tegangan adalah perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik dan dinyatakan dalam satuan volt. Tegangan dapat menunjukkan besar energi potensial listrik yang menimbulkan adanya aliran listrik pada suatu konduktor. Secara umum dalam sistem tenaga listrik, besar tegangan dibagi menjadi beberapa golongan yaitu:

**Tabel 2.1** Penggolongan tegangan

Golongan Tegangan	Rentang Nilai Tegangan
Tegangan Tinggi	> 3500 volt
Tegangan Menengah	1000 volt – 35000 volt
Tegangan Rendah	50 volt – 1000 volt

###### **2.1.1.2 Arus Listrik**

Arus listrik adalah jumlah muatan listrik yang mengalir pada konduktor sirkuit listrik per detik. Arus listrik terjadi akibat adanya pergerakan elektron-elektron dalam konduktor yang bertegangan. Arus listrik dinyatakan dalam satuan Coulomb/detik atau lebih umum disebut dengan Ampere.

###### **2.1.1.3 Daya Listrik**

Dalam sistem tenaga listrik, terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah

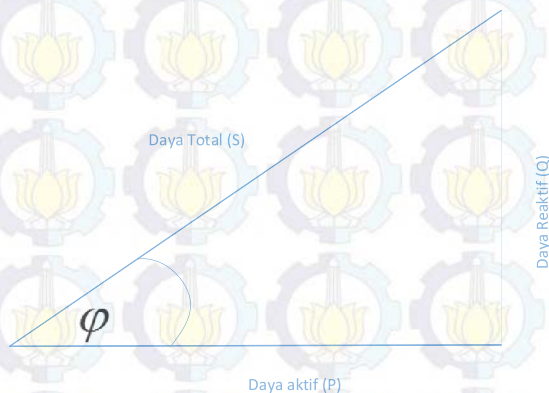


beban yang hanya terdiri dari tahanan ohm dan daya yang dikonsumsi hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri yaitu disamping mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet dalam beban tersebut. Daya listrik dibagi menjadi 3 jenis daya sesuai dengan bagaimana proses pembangkitannya, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya total.

Daya aktif adalah daya yang dihasilkan dari energi yang nyata dan digunakan untuk melakukan energi yang nyata pula. Pada prinsipnya daya aktif dibangkitkan dari proses konversi energi primer seperti energi panas, energi mekanik, ataupun energi potensial. Daya aktif disimbolkan dengan “P” dan dinyatakan dalam satuan Watt.

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet. Pada prinsipnya daya reaktif dihasilkan dari pembangkitan medan listrik pada generator sinkron melalui sistem eksitasinya. Daya reaktif disimbolkan dengan “Q” dan dinyatakan dalam satuan VAR. Daya total adalah daya yang dihasilkan dari perkalian antara arus dan tegangan, disimbolkan dengan “S” dan dinyatakan dalam satuan VA.

Dalam mendefinisikan hubungan antara tiga daya tersebut, digunakan teori segitiga daya.



**Gambar 2.1** Segitiga daya

Dari gambar segitiga daya di atas dapat disimpulkan hubungan antara ketiganya sebagai berikut :

$$S = V I \quad (2.1)$$

$$P = V I \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$Q \quad V \quad I \quad \sin \phi \quad (2.3)$$

$\cos \phi$  merupakan sudut yang merepresentasikan hubungan antara ketiga daya tersebut. Dalam sistem tenaga listrik,  $\cos \phi$  merupakan parameter penting yang biasa disebut dengan faktor daya.  $\cos \phi$  juga menunjukkan adanya perbedaan sudut antara gelombang tegangan dan gelombang arus dalam fungsi waktu.

Apabila suatu beban memiliki karaktereistik gelombang arus yang tertinggal maka beban tersebut memiliki nilai  $\cos \phi$  negatif atau disebut dengan *lagging*. Namun, apabila suatu beban memiliki karakteristik gelombang arus yang mendahului gelombang tegangan maka beban tersebut memiliki nilai  $\cos \phi$  positif atau disebut dengan *leading*.

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Awalnya energi listrik dibangkitkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD dengan tegangan menengah 13-20 kV. Umumnya pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pelanggan tenaga listrik. Untuk mentransmisikan tenaga listrik diperlukan penggunaan tegangan yang lebih tinggi yaitu Saluran Tegangan Tinggi 150/70 kV (STT) atau Saluran Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV (STET).

Dengan menggunakan transformator step up akan diperoleh tegangan yang lebih tinggi. Adapun alasan pemakaian tegangan tinggi adalah untuk efisiensi yaitu: pemakaian penampang penghantar menjadi efisien karena arus yang mengalir menjadi lebih kecil. Jika saluran transmisi sudah dekat dengan pengguna tenaga listrik yang merupakan suatu daerah industri atau kota, tegangan pada gardu induk distribusi diturunkan kembali menjadi tegangan menengah (TM) 20kV.

Sistem distribusi memiliki peranan yaitu menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing masing beban atau pelanggan dengan cara mengubah tegangan listrik yang didistribusikan menjadi tegangan yang dikehendaki, karena kedudukan sistem distribusi ada pada bagian paling akhir dari keseluruhan sistem tenaga listrik.

### 2.2.1 Sistem Distribusi Radial

Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena daya saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber jaringan itu kemudian dibagi dalam bentuk cabang ke setiap titik beban.

Akibat pencabangan tersebut arus beban yang mengalir disepanjang saluran tidak sama besar. Karena arus beban sepanjang

salurannya tidak sama besar, menyebabkan luas penampang konduktor pada jaringan radial ukurannya dapat berbeda. Maksudnya, saluran paling dekat sumber memikul arus beban yang lebih besar maka ukuran penampang konduktor yang digunakan lebih besar sedangkan saluran cabang makin ke ujung arus beban semakin kecil sehingga ukuran konduktor yang digunakan akan lebih kecil.

Sistem distribusi radial ditandai dengan hanya memiliki satu jalur dari sumber (gardu distribusi) menuju ke setiap pelanggan. Pembebanan sistem distribusi secara umum tidaklah seimbang disebabkan beban satu fasa yang nilai bebannya tidak sama dalam jumlah besar yang harus dilayani.

Ketidakeimbangan sistem distribusi radial juga disebabkan oleh jarak konduktor yang tidak sama pada saluran udara dan bawah tanah. Karena sifat dan karakteristik dari sistem distribusi inilah studi aliran daya konvensional untuk sistem transmisi tidak dapat diterapkan.

Adapun spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

**Kelebihan:**

- Bentuknya sederhana.
- Biaya investasinya relatif murah.

**Kelemahan:**

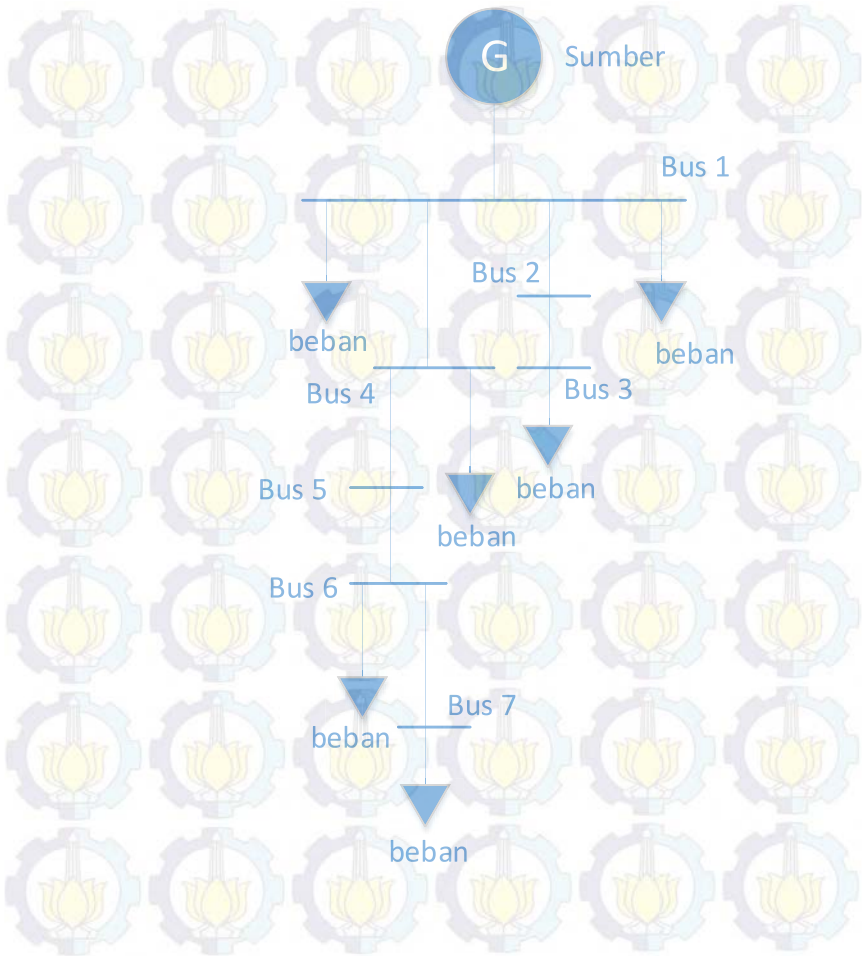
- Jatuh tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- Kontinuitas pelayanan daya tidak handal karena antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu saluran sehingga jika terjadi gangguan pada saluran tersebut maka seluruh beban sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman secara total.

Untuk meminimumkan gangguan, pada jaringan radial ini umumnya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya, berfungsi untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total yaitu daerah sesudah/di belakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi. Misalkan gangguan terjadi di titik B, maka daerah C, D, E dan lainnya terjadi pemadaman total. Jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi, antara lain:

- (1). Radial tipe pohon.
- (2). Radial dengan tie dan switch pemisah.

(3). Radial dengan pusat beban.

Berikut ini adalah contoh jaringan distribusi radial tipe pohon.



**Gambar 2.2** Jaringan distribusi radial tipe pohon

Gambar 2.2 adalah *Single Line Diagram* (SLD) dari sistem distribusi radial, Ini merupakan bentuk jaringan yang paling dasar. Hanya satu saluran utama untuk melayani beban kemudian dibagi menjadi beberapa cabang (*lateral feeder*) dan lateral penyulang ini dibagi lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang), Arus yang



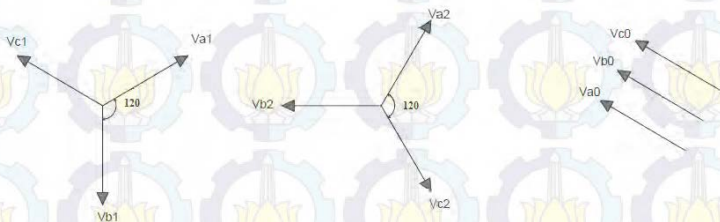
dipikul masing-masing saluran berbeda, arus yang mengalir pada penyulang utama adalah yang terbesar maka penampang konduktornya yang terbesar, arus pada penyulang lateral lebih kecil dari penyulang utama maka ukuran penampang konduktornya lebih kecil dan arus pada sublateral terkecil sehingga ukuran penampang konduktor yang terkecil. Pada penerapannya, sistem distribusi melayani berbagai macam beban sehingga memungkinkan sistem menjadi tak seimbang.

### 2.2.2 Sistem Distribusi Tak Seimbang

Sistem distribusi tenaga listrik tiga fasa menggunakan empat kawat dengan tegangan 220/380 volt pada umumnya digunakan untuk mensuplai beban perumahan, gedung perkantoran, kawasan industri dan lainnya. Pada kondisi normal sistem distribusi mempunyai arus beban yang relatif seimbang dengan arus netral yang tidak lebih dari 20% arus nominal, namun pada penerapannya selalu terdapat ketidakseimbangan sehingga menghasilkan arus yang tidak seimbang.

Pada operasi normal, daya yang disalurkan kepada konsumen diambil dari *feeder* tiga fasa dengan empat kawat, namun karena adanya ketidakseimbangan pada beban di sisi konsumen maka mengakibatkan timbul arus balik yang mengalir pada konduktor netral menuju ke sumber yang dikenal dengan nama arus netral. Arus netral merupakan penjumlahan vektor dari ketiga fasa dalam komponen simetris.

Fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetri seperti yang telah diperkenalkan oleh C. L Fortescue. Dia membuktikan bahwa dalam sebuah sistem yang tidak seimbang yang terdiri dari tiga fasor yang berhubungan dapat dianggap mejadi tiga fasor yang seimbang yang disebut sebagai komponen simetri.



**Gambar 2.3** Urutan positif, urutan negatif, urutan nol

Berdasarkan fenomena *Fortescue*, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diperoleh menjadi tiga sistem fasor yang seimbang, yaitu:

1. *Positive-sequence components*, terdiri dari tiga fasor yang sama magnitudenya, terpisah masing-masing sebesar  $120^\circ$  pada fasa, dan mempunyai urutan fasa a-b-c.
2. *Negative-sequence components*, terdiri dari tiga fasor yang sama magnitude, memiliki beda fase  $120^\circ$ , akan tetapi memiliki urutan fasa yang berlawanan dengan komponen urutan positif (urutan fasa a-c-b).
3. *Zero-sequence components*, terdiri dari tiga fasor yang sama dalam magnitude dan sefasa antara ketiga fasanya

## **2.3 Konsep dasar dan definisi kestabilan**

Kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan secara umum sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sistem pada kondisi normal setelah sistem mengalami gangguan .

Ketidakstabilan pada sistem tenaga listrik juga dapat didefinisikan dalam banyak makna, bergantung pada konfigurasi sistem dan mode operasi. Definisi ini akan memberikan gambaran bahwa kestabilan sistem tenaga dapat diukur dari kemampuan sistem untuk menjaga keseimbangan antara daya yang dibutuhkan dengan daya yang dihasilkan. Sistem dapat dalam kondisi tidak stabil bila adanya gangguan, meningkatnya beban yang dibutuhkan dan perubahan topologi jaringan yang mengakibatkan penurunan tegangan secara tidak terkendali.

### **2.3.1 Kestabilan Tegangan**

Kestabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan level tegangan semua bus (cabang) pada kondisi normal setelah sistem mengalami kondisi awal gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil bila adanya gangguan, meningkatnya beban yang dibutuhkan dan perubahan topologi jaringan yang mengakibatkan penurunan tegangan secara tidak terkendali. Ketidakstabilan sistem dapat dipengaruhi dari kondisi setiap komponen sistem tenaga, seperti:

#### **1. Generator**

Generator sebagai pembangkit listrik memberikan pasokan daya reaktif yang cukup untuk dapat menjaga sistem tenaga pada kondisi

stabil dengan menjaga level tegangan beroperasi pada standar yang normal. Namun generator dibatasi oleh kurva kapabilitas sehingga menyebabkan output daya reaktif menjadi berkurang yang disebabkan oleh terbatasnya belitan medan.

2. Saluran Transmisi

Saluran transmisi juga menjadi penyebab lain yang penting dalam stabilitas tegangan dimana saluran transmisi membatasi daya maksimum yang akan dikirim dan dapat diartikan sebagai batasan panas pada sistem transmisi.

3. Beban

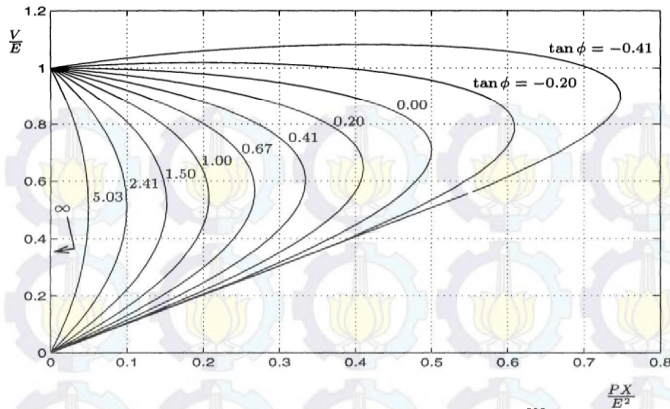
Beban merupakan komponen yang dapat menyebabkan stabilitas tegangan terganggu. Beban memiliki dua kategori yaitu beban statis dan beban dinamis, kedua jenis beban tersebut dapat pengaruh profil tegangan hingga melampaui batas daya reaktif pembangkit.

### 2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan Berdasarkan Kurva P-V

Kurva P-V merupakan salah satu cara indentifikasi faktor utama pada permasalahan ketidakstabilan. Dimana kurva ini menggambarkan tegangan yang bervariasi seiring dengan perubahan beban daya aktif yang terus meningkat. Kurva ini dihasilkan dengan sederet solusi aliran daya untuk tingkat beban yang berbeda-beda secara merata, dengan menjaga faktor daya selalu konstan.

Daya aktif yang dihasilkan berasal dari kenaikan rating generator yang proposional atau faktor-faktor yang dipengaruhi oleh pengoperasiannya. Kenaikan komponen P pada masing-masing beban bergantung pada tegangan bus sesuai dengan permodelan beban yang telah ditentukan. Penentuan titik kritis ketika terjadi kenaikan beban sangat penting karena dapat menyebabkan tegangan jatuh (*voltage collapse*) pada sistem seperti pada gambar 2.4.





**Gambar 2.4** Bentuk dan Karakteristik Kurva  $P-V$  <sup>[3]</sup>

Beberapa penulis telah mengusulkan indeks stabilitas tegangan berdasarkan pada beberapa jenis analisa aliran daya, dengan tujuan untuk mengevaluasi batas stabilitas tegangan. Namun, aliran daya dengan menggunakan jacobian pada Metode Newton-Rapson digunakan untuk solusi tunggal aliran daya dalam titik kritis yang dekat pada daerah kritis yang cenderung menyimpang. Kekurangan ini dapat dihindari dengan menggunakan studi aliran daya lanjutan.

## 2.4 Definisi Tegangan Jatuh (*Voltage Collapse*)

Definisi tegangan jatuh (*voltage collapse*) adalah sebuah fenomena yang selalu muncul bila terjadi kenaikan beban yang sangat besar pada sistem tenaga listrik. *voltage collapse* terjadi jika nilai tegangan setelah terjadinya gangguan berada di bawah batas yang dapat diterima ataupun apabila terjadi kenaikan beban.

Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan *voltage collapse* diantaranya :

1. Jarak yang jauh antara pembangkit dan beban
2. Cara kerja sistem selama kondisi tegangan rendah
3. Pembebanan dan karakteristik beban dalam sistem yang kurang baik
4. Koordinasi yang kurang baik antara kontrol sistem dengan pengamanan sistem tenaga listrik.

Sebagian dari perubahan tersebut memiliki dampak yang signifikan dalam produksi, konsumsi, dan transmisi daya reaktif. Oleh karena itu disarankan untuk adanya tindakan pengontrolan dengan menggunakan perangkat kapasitor bank dan pembatasan beban .



## 2.5 Analisis Aliran Daya

Sistem distribusi merupakan bagian penyaluran daya yang penting karena letaknya yang dekat dengan beban. Di bagian sistem inilah beban dapat dipantau dan dilakukan pengaturan kuantitas dan kualitas daya yang dikirim. Untuk melakukan pemantauan, rekayasa, maupun desain suatu sistem distribusi harus dilaksanakan dengan tepat, dan akurat. Sehingga tentunya diperlukan analisis aliran daya sebelum melakukan analisis yang lebih lanjut.

Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah:

1. Untuk memeriksa tegangan dan sudut fasa masing masing bus.
2. Untuk memeriksa kemampuan semua peralatan yang ada dalam sistem apakah cukup besar untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi awal bagi studi-studi selanjutnya, yakni studi hubung singkat, studi rugi-rugi transmisi dan studi stabilitas. Ada 3 macam bus dalam hal ini setiap bus mempunyai empat besaran dengan dua besaran diantaranya diketahui yakni:

### **BUS REFERENSI (*slack bus*).**

Suatu bus yang selalu mempunyai besaran dan sudut fasa yang tetap dan telah diberikan sebelumnya, pada bus ini berfungsi untuk mencatu rugi-rugi, kekurangan daya yang ada pada jaringan, dalam hal ini penting karena kekurangan daya tidak dapat dicapai kecuali terdapat suatu bus yang mempunyai daya tak terbatas sehingga dapat mengimbangi rugi-rugi.

### **BUS PQ (*bus beban*).**

Pada tipe bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui, sedangkan dua lainnya didapat dari hasil perhitungan. BUS PV (bus pembangkit). Pada tipe bus ini, besar tegangan dan daya aktif telah ditentukan sedangkan daya reaktif dan sudut fasa tegangan didapat dari hasil perhitungan.

Pada tiap tiap bus terdapat 4 besaran, yaitu :

- Daya real atau daya aktif  $P$
- Daya reaktif  $Q$
- Harga skalar tegangan  $|V|$
- Sudut fasa tegangan  $\theta$

Dengan karakteristik khusus dan berbeda dengan saluran transmisi maka diperlukan analisis aliran daya yang tepat digunakan untuk saluran

distribusi. Beberapa penelitian dan pengembangan pemodelan matematis saluran distribusi dikenal beberapa metode analisis aliran daya pada saluran distribusi. Salah satu metode yang banyak digunakan dan dikembangkan adalah metode *forward-backward*.

Metode *forward-backward* merupakan metode analisis aliran daya dengan menggunakan prinsip hukum Kirchoff. Metode *forward-backward* tersiri dari dua langkah perhitungan dalam menghitung nilai tegangan yang pasti dalam sistem distribusi radial. Langkah yang pertama adalah menghitung besar arus yang mengalir pada cabang dimulai dari beban terujung hingga menuju *infinite bus*. Langkah ini disebut dengan metode *forward*. Kemudian arus yang mengalir di tiap cabang dikalikan dengan impedansi saluran untuk mendapatkan besar drop tegangan. Dengan melakukan perhitungan drop tegangan pada tiap saluran dan cabang sistem distribusi radial tersebut, tegangan pada tiap bus transformator distribusi dapat diketahui.

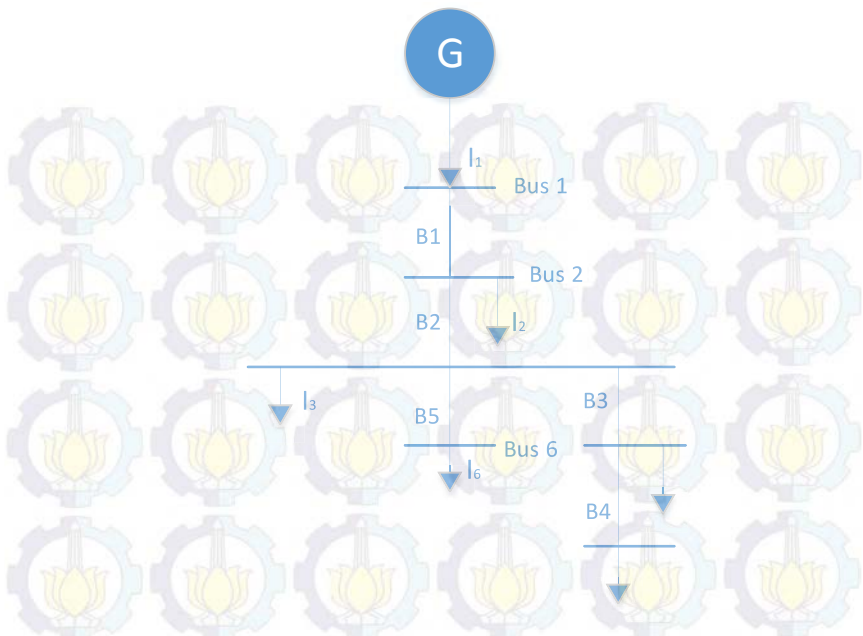
## **2.6 Metode Analisis Aliran Daya**

Dalam perkembangan analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward*, terdapat beberapa pengembangan yang telah dilakukan untuk menambah kekakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan analisis. Terutama untuk dapat mengakomodir sistem tiga fasa dalam keadaan tidak seimbang, maka perlu adanya rekayasa perhitungan secara matematik menggunakan beberapa cara kalkulasi dan pemodelan sistem.

### **2.6.1 Metode $Z_{BR}$**

Dalam melakukan proses analisis aliran daya dengan metode *forward-backward* pada sistem distribusi dengan sistem yang kompleks, diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan proses iterasi dan membentuk persamaan.

Salah satu metode yang dikembangkan adalah metode  $Z_{BR}$ . Metode  $Z_{BR}$  adalah metode yang digunakan untuk membentuk persamaan aliran daya dengan menyusun impedansi saluran distribusi radial dalam suatu matrik untuk menghitung drop tegangan. Sebelum membentuk matrik  $Z_{BR}$ , digunakan metode *network topology* untuk mendapatkan persamaan analisis aliran daya. Salah satu contoh pembentukan persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.5** Single line diagram contoh analisis menggunakan metode *network topology*

Sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber pada *infinite bus* menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$B \quad I \quad (2.4.a)$$

$$B_i \quad I \quad (2.4.b)$$

$$B \quad I_i \quad I \quad (2.4.c)$$

$$B \quad I \quad I_i \quad I \quad I \quad (2.4.d)$$

$$B \quad I \quad I \quad I_i \quad I \quad I \quad (2.4.e)$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungan selanjutnya dengan menggunakan matrik.

$$\begin{bmatrix} B \\ B \\ B \\ B_i \\ B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ I \\ I \\ I_i \\ I \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Persamaan matrik di atas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] \quad [BIBC] \quad I \quad (2.6)$$

Kemudian dibentuk persamaan untuk mencari nilai drop tegangan berdasarkan jalur injeksi arusnya.

$$V_i \quad V_i - B \quad Z \quad (2.7.a)$$

$$V_i \quad V_i - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad (2.7.b)$$

$$V_i \quad V_i - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad (2.7.c)$$

$$V_i \quad V_i - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B_i \quad Z \quad (2.7.d)$$

$$V_i \quad V_i - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B_i \quad Z \quad - B \quad Z \quad (2.7.e)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_i - V_i \quad B \quad Z \quad (2.8.a)$$

$$V_i - V_i \quad B \quad Z \quad - B \quad Z \quad (2.8.b)$$

$$V_i - V_i \quad B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad (2.8.c)$$

$$V_i - V_i \quad B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B_i \quad Z \quad (2.8.d)$$

$$V_i - V_i \quad B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B \quad Z \quad - B_i \quad Z \quad - B \quad Z \quad (2.8.e)$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_i - V_i \\ V_i - V_i \\ V_i - V_i \\ V_i - V_i \\ V_i - V_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ Z & Z \\ Z & Z & Z \\ Z & Z & Z & Z \\ Z & Z & & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ B \\ B \\ B_i \\ B \end{bmatrix}$$

$$[\Delta V] \quad [BCBV] \quad B \quad (2.9)$$

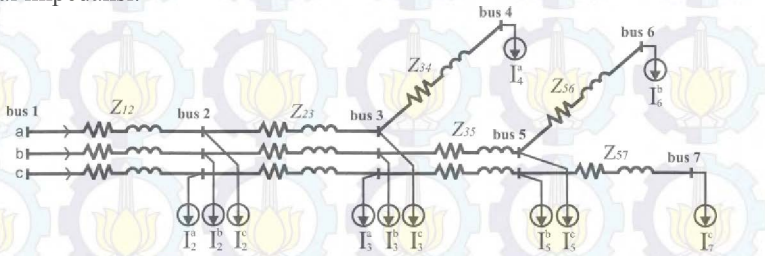
Sehingga, untuk mendapatkan nilai  $\Delta V$  didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :



$$[\Delta V] \quad [BCBV][BIBC] \quad I \quad (2.10.a)$$

$$[\Delta V] \quad [DLF] \quad I \quad (2.10.b)$$

Untuk melakukan analisis aliran daya tiga fasa, persamaan disusun dengan langkah-langkah yang sama. Untuk metode  $Z_{BR}$ , cara menghitung drop tegangan dilakukan per fasa dengan mengubah dimensi matrik menjadi 3 kali lipat karena digunakan untuk menghitung 3 rangkaian fasa. Matrik  $Z_{BR}$  merupakan matrik yang merepresentasikan impedansi saluran tiga fasa yang dibentuk dengan menelusuri jalur arus mengalir ke beban dan dikonversikan ke dalam matrik sesuai dengan nilai impedansi.



**Gambar 2.6** Contoh rangkaian 3 fasa untuk membentuk matrik  $Z_{BR}$

Dari contoh rangkaian 3 fasa di atas, dapat dibentuk matrik untuk menghitung injeksi arus menggunakan matrik BCBV.

$$Z_{BR} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Z_a \\ Z_b \\ Z_c \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

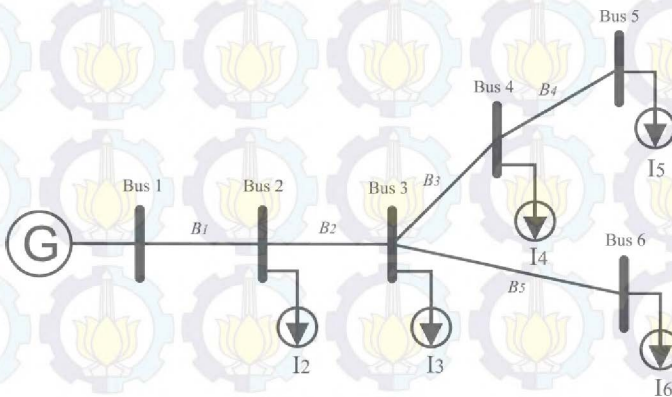
### 3.6.2 Metode K-matrik

Analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward* memiliki keefektifan dalam menghitung nilai tegangan pada tiap bus. Namun, apabila diterapkan dalam sistem yang

kompleks dan rumit dibutuhkan metode pengembangan lebih lanjut. Metode  $Z_{BR}$  merupakan metode pengembangan yang dapat memudahkan analisis untuk melakukan studi aliran daya. Dengan menyederhanakan pembentukan matrik impedansi saluran distribusi dapat mempercepat perhitungan studi aliran daya. Namun apabila metode  $Z_{BR}$  digunakan untuk melakukan analisis aliran daya pada sistem tiga fasa, diperlukan satu matrik yang digunakan untuk mendefinisikan jalur saluran tiga fasa. Misalkan dalam satu bus hanya terdapat dua fasa atau hanya satu fasa diperlukan pendefinisian manakah fasa yang hilang dalam bus tersebut.

Metode K-matrik merupakan metode pembentukan matrik impedansi dengan melakukan penelusuran alur/*path* saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain. Gambar di bawah adalah single line diagram untuk sistem yang sama dengan contoh single line diagram pada analisis aliran daya menggunakan metode  $Z_{BR}$ . Untuk membentuk K-matrik digunakan aturan penelusuran jalur.

- $k_{ij} = 1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang sama
- $k_{ij} = -1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan
- $k_{ij} = 0$ , jika cabang  $i$  tidak berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi



**Gambar 2.7** Single line diagram contoh analisis menggunakan metode K-matrik <sup>[6]</sup>

Maka untuk contoh single line diagram di atas, K-matrik-nya adalah :

$$\begin{matrix} & \text{bus} & \text{bus} & \text{bus} & \text{bus} & \text{bus} \\ \begin{matrix} B \\ B \\ B \\ B \\ B \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & - & - & - & - \\ & - & - & - & - \\ & & - & - & - \\ & & & - & - \\ & & & & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Pada contoh sebelumnya, dapat disimpulkan persamaan menghitung drop tegangan.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC] I \quad (2.12)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_1 \\ V_1 - V_1 \\ V_1 - V_1 \\ V_1 - V_1 \\ V_1 - V_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z & & & & \\ Z & Z & & & \\ Z & Z & Z & & \\ Z & Z & Z & Z & \\ Z & Z & & & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ I \\ I \\ I \\ I \end{bmatrix}$$

Apabila kita amati bentuk dan komposisi dari matrik BIBC, terdapat persamaan komposisi matrik. Matrik BIBC memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen K-matrik. Sehingga dapat dirumuskan hubungan antara K-matrik dan BIBC sebagai berikut ;

$$[BIBC] = -K - \text{matrik} \quad (2.13)$$

Sedangkan bila matrik BIBC kita transpose komposisinya maka akan terbentuk matrik yang berkorelasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} - & & & & \\ & - & & & \\ & & - & & \\ & & & - & \\ & & & & - \end{bmatrix}$$

Apabila matrik BIBC' dikalikan per komponen (perkalian dot) dengan matrik impedansi *full branch*, maka akan didapatkan matrik BCBV.

$$BCBV = -[K - \text{matrik}]' \cdot ZF_{BR} \quad (2.14)$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} - & & & & \\ & - & & & \\ & & - & & \\ & & & - & \\ & & & & - \end{bmatrix}' \cdot \begin{bmatrix} Z & Z & Z & Z & Z \\ Z & Z & Z & Z & Z \\ Z & Z & Z & Z & Z \\ Z & Z & Z & Z & Z \\ Z & Z & Z & Z & Z \end{bmatrix}$$

Sehingga, untuk metode K-matrik dapat disimpulkan formula mencari drop tegangan di tiap saluran.

$$[\Delta V] = -[K]^{-1} \cdot ZF_{BR} - I \quad (2.15)$$

Untuk analisis tiga fasa, dapat digunakan konfigurasi K-matrik dengan dimensi tiga kali dari dimensi K-matrik untuk analisis satu fasa. Komposisi per komponen untuk analisis tiga fasa dalam suatu K-matrik adalah sebagai berikut :

$$\begin{matrix} & \text{fasa a} & \text{fasa b} & \text{fasa c} \\ \text{fasa a} & Z & Z & Z \\ \text{fasa b} & Z & Z & Z \\ \text{fasa c} & Z & Z & Z \end{matrix}$$

Komponen matrik  $Z_{ij}$  merupakan impedansi akibat adanya *mutual impedance* antara fasa  $i$  dan fasa  $j$ .

Apabila kita ambil contoh rangkaian pada gambar 3.4, maka K-matrik dibentuk sebagai berikut :

$$K = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$





## **BAB 3**

### **SISTEM TENAGA LISTRIK BANDARA JUANDA**

#### **3.1 Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda**

Sistem tenaga listrik pada bandara Juanda disuplai dari PLN, dengan 2 sumber utama yaitu dari Sedati dan Pranti dimana pihak PT. Angkasa Pura I berlangganan energi listrik dari PLN dengan kapasitas tegangan 20 KV, frekuensi 50 Hz, 3 phasa, dengan daya listrik masing-masing gardu penyalang berbeda-beda. Gardu penyalang Sedati menyuplai dengan kapasitas daya 9,5 MVA dan kapasitas daya dari PLN yang melalui penyalang Pranti adalah 3,45 MVA. Untuk kemudian jaringan listrik disalurkan ke semua beban yang ada di bandara Juanda Surabaya.

Distribusi di bandara bergantung juga dari kepentingan, kegunaan dan bebannya sendiri. Sebagai contoh, beban KESPEN (keselamatan penerbangan) yang melingkupi semua lampu landasan serta tanda yang berhubungan dengan keselamatan dari penerbangan yang ada di landasan mendapat prioritas utama. Karena menyangkut keselamatan. Selain itu PTB (Passanger Terminal juga mendapat prioritas), namun lebih diutamakan untuk keselamatan penerbangan.

Baik buruknya suatu sistem distribusi dapat dinilai dari beberapa parameter sebagai berikut :

1. Kontinuitas pelayanan

Kontinuitas pelayanan yang baik adalah penyaluran daya yang tidak sering terjadi pemutusan baik karena adanya gangguan maupun akibat hal-hal yang direncanakan seperti perbaikan. Kontinuitas yang baik biasanya diberikan kepada beban-beban penting yang sangat tidak dikehendaki adanya pemadaman. Beban-beban seperti ini contohnya instalasi militer, pelayanan telekomunikasi, rumah sakit, dan lain-lain.

2. Kualitas daya

Kualitas daya yang baik berhubungan dengan beberapa parameter listrik yang sampai ke pelanggan sehingga tidak mengganggu performa peralatan yang ada pada pelanggan seperti tegangan konstan dan nominal (drop tegangan saluran kecil), daya terpenuhi, dan frekuensi yang stabil.

### 3. Perluasan dan penyebaran

Semakin luas daerah yang harus dilayani oleh saluran distribusi/penyulang, maka keseimbangan beban harus benar-benar diperhatikan. Karena pada umumnya sistem distribusi tiga fasa melayani beban-beban yang secara natural tidak seimbang. Sehingga perlu adanya pengaturan konfigurasi saluran yang dapat mengurangi faktor ketidakseimbangan beban pada saluran.

### 4. Pengembangan sistem yang fleksibel

Sistem distribusi yang baik adalah apabila didesain untuk dapat dikembangkan. Sebaiknya setiap penyulang tidak didesain hanya dapat bekerja optimal jika digunakan untuk melayani kebutuhan sesaat. Tetapi harus dapat digunakan untuk melayani perubahan beban apabila terdapat pengembangan jaringan atau daerah yang dilayani diperluas.

### 5. Kondisi dan situasi lingkungan

Faktor ini merupakan pertimbangan yang dilakukan untuk menentukan tipe-tipe saluran distribusi yang cocok untuk diterapkan di suatu daerah. Beberapa contoh pertimbangannya adalah jenis konduktor, konfigurasi, tata letak, dan pertimbangan dari segi estetika.

### 6. Ekonomis

Dalam membangun maupun melakukan pengembangan sistem distribusi harus dipertimbangkan beberapa hal dari segi ekonomi, baik dalam tujuan komersil maupun dalam usaha penghematan anggaran.

## 3.2 Sistem Distribusi Listrik Bandara Juanda

Sistem distribusi yang dipakai oleh PT.Angkasa Pura I selaku penanggung jawab dan pengelola Bandara Juanda merupakan jaringan distribusi tipe radial. Sistem ini memiliki keuntungan dan kekurangan pula. Adapun kelebihan dari sistem ini adalah sederhana dan murah serta lebih mudah dari segi sistem koordinasi pengamannya. Untuk kekurangannya adalah saat terjadi gangguan pada salah satu bus maka suplai daya ke beban akan terputus karena daya yang disalurkan melalui satu *line* saja.

Pada sistem yang ada di Bandara Juanda dalam operasinya dilengkapi dengan beberapa peralatan seperti transformator, relay, circuit breaker yang digunakan untuk masing-masing beban dengan kategori tertentu. Untuk lebih jelas mengenai peralatan transformator yang digunakan pada single line diagram dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Data kapasitas transformator sistem bandara Juanda

No.	ID	KVA	KV
1	T01-POL	1500	20/0,38
2	T01-CHL	2000	20/6,6
3	T01-PTB	2000	20/0,38
4	T02-PTB	2500	20/0,38
5	T01-OB	200	20/0,38
6	T01-CG	500	20/0,38
7	T01-MPH	4500	20/6,6
8	T04-MPH	200	6,6/0,38
9	T01-RA	50	6,6/0,38
10	T1-RC	100	6,6/0,38
11	T01-RB	50	6,6/0,38
12	T01-A2	50	6,6/0,38
13	T01-A1	100	6,6/0,38
14	T02-CG	160	20/0,38
15	T01-WS	315	20/0,38
16	T03-PTB	2500	20/0,38
17	T02-MPH	3000	6,6/20
18	T02-RA	50	6,6/0,38
19	T02-RB	50	6,6/0,38
20	T01-RC	100	6,6/0,38
21	T01-AP1	100	6,6/0,38
22	T02-AP2	100	6,6/0,38
23	T01-SD1	630	6,6/0,38
24	T02-SD2	250	6,6/0,38
25	T03-SD3	400	6,6/0,38
26	T01-R10	160	20/0,38
27	T02-R10	160	20/0,38
28	T03-R10	100	20/6,6
29	TH-10	100	6,6/0,38
30	T01-R28	200	20/0,38
31	T02-R28	200	20/0,38
32	T02-OB	630	20/0,38
33	T2-MPH03	300	20/0,38
34	T1-MPH03	1500	20/20



### 3.3 Kategori Beban

Seperti yang diketahui pada umumnya setiap bandara yang beroperasi baik untuk sipil dan militer disuplai dari jaringan publik yaitu (PLN) dengan tegangan menengah/TM 20 KV dan tegangan rendah/TR, 220/380 V, 50 Hz, 3 phase. Direkomendasikan bahwa suplai jaringan listrik PLN didapat dari 2 (dua) buah *feeder* yang terpisah dan tidak tercampur dengan kebutuhan masyarakat.

Sistem catu daya listrik untuk fasilitas Visual Aids dan Navigasi Radio di bandar udara memerlukan keandalan yang sangat tinggi. seperti lampu runway yang berfungsi sebagai petunjuk sistem pendaratan dan lepas landas pesawat dan beban-beban lainnya baik untuk fasilitas kenyamanan penumpang maupun untuk peralatan navigasi dan komunikasi . Berikut tabel 3.2 adalah data beban pada single Line diagram bandara Juanda:

**Tabel 3.2** Data beban Bandara Juanda *Essential* dan *General*

ID	SERVICE	(kVA)	Keterangan
POL	Pertamina	788	AVTUR
CHL	Cabin Chiller	1093	PUBLIK
PTB-1	Passenger Terminal Building	1287	PUBLIK
PTB-2	Passenger Terminal Building	1287	PUBLIK
PTB-3	Passenger Terminal Building	1287	PUBLIK
AOB	Operational Building I	282	CREW
CG	Cargo	235	PUBLIK
MPH-TO	Main Power Building	18,5	CREW
RA	Parking Area	22,5	PUBLIK
RB	Building Area	22,8	PUBLIK
R28	Run Way 28	110,87	CREW
TH10	Tower Area	50,91	CREW
OB	Operational Building 2	282	CREW
RC	Service Car Area	91,6	PUBLIK
AP-1	Apron	83,37	CREW
AP-2	Apron	96,42	CREW
SD-1	Hanggar-1	891	CREW
SD-2	Hanggar-2	241	CREW
SD-3	Hanggar-3	353	CREW
R10	Run Way 10	144,44	CREW

### 3.3.1 Kategori 1 atau jaringan prioritas

Untuk fasilitas teknikal dan general (umum) diperlukan catu daya yang kontinyu atau terputusnya catu daya hanya diijinkan untuk waktu yang sangat singkat. Jaringan ini harus di back up dengan genset

#### 1. Peralatan prioritas teknikal :

- *Radio Aids*
- *Visual Aids*
- Gedung operasi
- Stasiun observasi MET
- Sebagian dari stasiun Pembangkit (Penerangan dan AC)

#### 2. Peralatan prioritas umum :

- Lampu-lampu signal dan penerangan minimum yang diperlukan bagi petugas ATC dalam melaksanakan tugasnya.
- Seluruh *Obstacle Light* yang dianggap esensial untuk keselamatan operasi pesawat.
- Lampu-lampu *approach*, *runway* dan *taxiway*.
- Peralatan Meteorologi.
- Penerangan untuk fasilitas keamanan yang esensial.
- Perlengkapan yang penting untuk fasilitas keadaan darurat.
- Lampu-lampu penerangan Apron (*Flood Light*).
- AC untuk ruang komputer, terminal penumpang (IAIS, CIS,PAS dan deteksi pemadam kebakaran)
- Check-in area (Ticketing counter, bagasi, konveyor)
- AC restoran, ruang keberangkatan, ruang transit dan kantor
- Lemari pendingin (Kulkas) restoran
- Sistem penerangan terminal
- *Waterplan* dan *water storage*
- Penerangan apron (*Flood light*)
- Gedung VVIP
- Stasiun Pemadam kebakaran
- *Boarding bridges* (Garbarata)

### 3.3.2 Kategori 2 atau jaringan general

Fasilitas *general* keadaan normal akan disuplai dari PLN dengan tegangan menengah atau tegangan rendah. Fasilitas ini tidak menuntut catu daya kontinyu dan akan tetap mati bila catu daya utama (PLN) putus.

- Sebagian/keseluruhan AC
- Sebagian penerangan terminal penumpang dan gedung umum
- Penerangan untuk sebagian jalan dan parkir

- Instalasi komersiel

### 3.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu pada SLD bandara Juanda Surabaya dengan jaringan distribusi radial. Data tersebut akan diolah dengan menggunakan analisis aliran daya sehingga dapat diketahui parameter tiap bus yang kemudian di analisa dengan metode *continuous power flow* (CPF) dengan penambahan *secant predictor* sehingga didapatkan titik pembebanan maksimum dari tiap bus dan mengetahui drop tegangan yang terjadi.

### 3.5 Continuous Power Flow (CPF)

Proses solusi prediktor-korektor dimulai dalam proses pengolahan kurva PV sampai kondisi pembebanan maksimum. Pertama, Metode *secant predictor* diterapkan untuk menghitung tegangan tiga fase sepanjang proses pembentukan kurva PV, berdasarkan inisialisasi awal solusi aliran daya berturut turut, maka mereka dikoreksi menggunakan aliran daya radial dengan solusi iteratif. Solusi aliran daya berulang berlanjut sampai toleransi ketidak cocokan yang telah ditetapkan adalah sama yaitu:

$$\Delta P_i^m \quad \varepsilon_{PF} \quad (3.1)$$

$$\Delta Q_i^m \quad \varepsilon_{PF} \quad (3.2)$$

Dimana  $\Delta P_i$  dan  $\Delta Q_i$  adalah ketidak sesuaian daya aktif dan reaktif di bus i, m mengacu pada fase a, b atau c dan  $\varepsilon_{PF}$  adalah aliran daya dengan toleransi yang telah ditetapkan.

Kemudian untuk menghitung dua titik pertama pada kurva digunakan *Adaptive step*. Namun, ukuran step yaitu dikontrol dengan persamaan sebagai berikut :

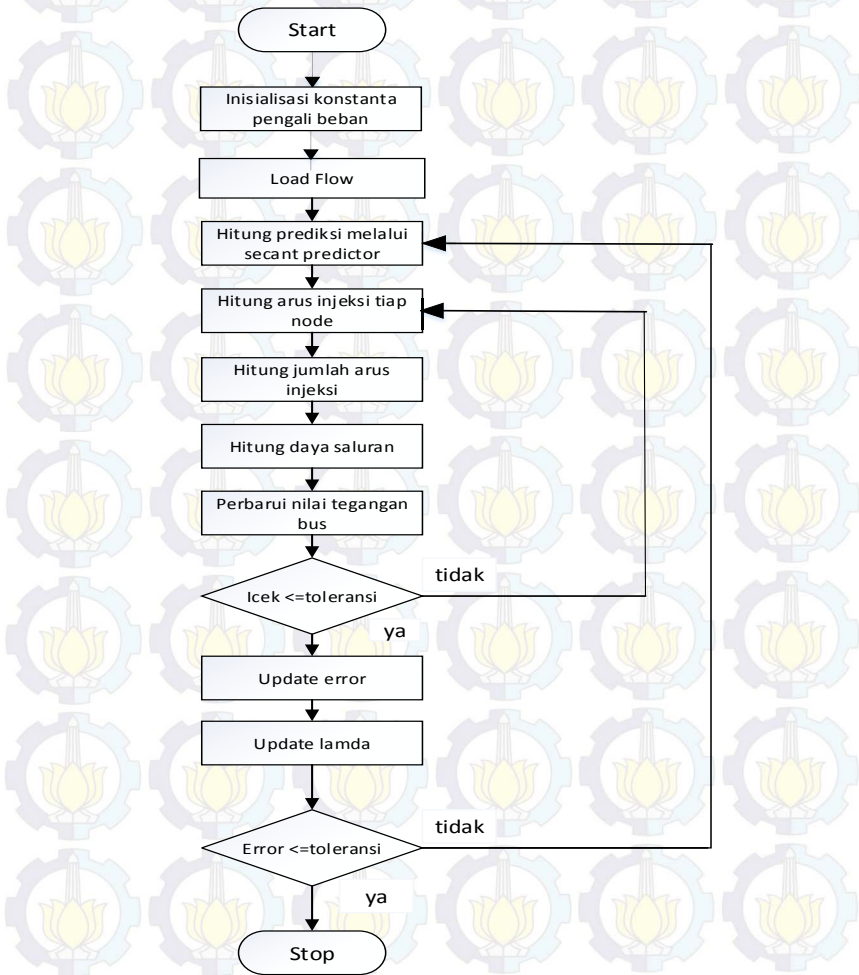
$$\sigma_k \quad \sigma_k \frac{C}{n_k} \quad (3.3)$$

$$\lambda_k \quad \sigma_k \quad \lambda_k \quad (3.4)$$

Dimana C adalah parameter ukuran kontrol dan  $n_k$  adalah besar nomer iterasi aliran daya di k. Akibatnya, sebagai korektor akan terlihat

solusi ke konvergensi dari daya-aliran, ukuran langkah diperbarui sesuai dengan persamaan diatas dan kemudian parameter yang baru dihitung seperti yang diberikan oleh persamaan (3.4).

Proses solusi prediktor-korektor dijelaskan pada Gambar 2.8 berdasarkan formulasi matematis



Gambar 2.8 Continuous power-flow analysis solution process





## BAB 4

### HASIL SIMULASI DAN ANALISIS STABILITAS TEGANGAN PADA BANDARA JUANDA

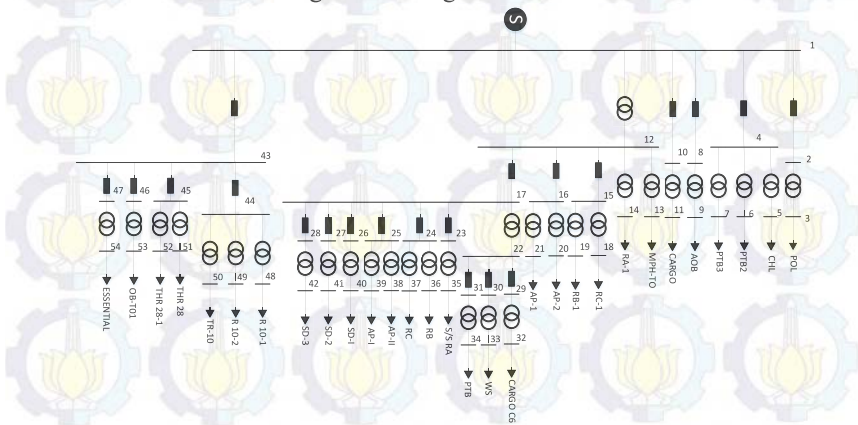
#### 4.1 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik Bandara Juanda

Pemodelan sistem tenaga listrik pada Bandara Juanda Surabaya dilakukan dengan cara membuat Analisis aliran daya pada *software Matlab*. Langkah pertama pembuatan aliran daya tersebut adalah mengumpulkan data yang meliputi data transformator, bus, beban, setoran *rele existing*, dan sistem pentanahan.

Dari pembuatan aliran daya tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Setelah pemodelan selesai dilakukan langkah selanjutnya adalah dengan melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui keadaan sistem pada saat *steady state*. Dari analisis ini dapat diketahui tegangan bus, pembebanan bus, rugi-rugi daya listrik, tegangan jatuh, dan aliran daya *existing* pada sistem distribusi Bandara Juanda.

Disini untuk menentukan kestabilan pada sistem distribusi Bandara Juanda langkah pertama adalah dengan mendapatkan data-data indikator yang di dapatkan dari analisis aliran daya yang kemudian di olah lagi ke dalam metode Continuous power flow untuk mengetahui tegangan jatuh pada sistem dan untuk mengetahui pada bus mana yang memiliki sensitivitas terhadap adanya perubahan beban pada sistem.

Berikut adalah Single Line Diagram Bandara Juanda:



Gambar 4.1 Single Line Diagram Bandara Juanda

## 4.2 Analisis Stabilitas Tegangan bandara Juanda

Analisis aliran daya menggunakan metode forward/backward dapat digunakan untuk mendapatkan akurasi pencarian nilai tegangan khusus pada saluran distribusi radial.

Dalam proses penentuan kestabilan pada tiap cabang di sistem distribusi bandara Juanda maka terlihat pada bus mana yang memiliki sensitivitas terhadap terjadinya perubahan beban.

Berikut ini hasil aliran daya pada sistem distribusi bandara juanda

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara Juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
1	1	0	966.8939	0
1	1	-120	895.2029	0
1	1	120	866.1403	0
2	0.94143	0.5692	966.8939	1.1713
2	0.84548	-119.176	895.2029	3.0904
2	0.89673	120.973	866.1403	2.0654
3	0.94144	0.5736	56.0774	1.1711
3	0.84544	-119.2	52.7088	3.0913
3	0.89674	120.9776	71.6967	2.0652
4	0.89892	1.2701	252.8903	2.0215
4	0.79902	-120.803	259.5734	4.0195
4	0.8543	121.7306	255.5004	2.9139
5	0.89897	1.2905	113.392	2.0206
5	0.79886	-120.916	52.3989	4.0229
5	0.85435	121.7521	72.2761	2.9129
6	0.89897	1.2926	58.5889	2.0207
6	0.79888	-120.927	90.9904	4.0224
6	0.85435	121.7542	111.8983	2.913
7	0.89897	1.2931	80.9438	2.0205
7	0.79885	-120.931	116.2017	4.023
7	0.85436	121.7548	71.3456	2.9129

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
8	0.9348	0.6942	38.5988	1.3039
8	0.83794	-119.458	19.0774	3.2412
8	0.89011	121.1072	63.1262	2.1978
9	0.93481	0.6971	38.5988	1.3038
9	0.83791	-119.474	19.0774	3.2419
9	0.89012	121.1103	63.1262	2.1976
10	0.93515	0.7466	18.9687	1.2969
10	0.83836	-119.123	65.8791	3.2329
10	0.89047	121.1622	38.463	2.1906
11	0.93521	0.7545	18.9687	1.2959
11	0.83811	-119.166	65.8791	3.2379
11	0.89052	121.1704	38.463	2.1896
12	0.94151	0.6019	562.7165	1.1699
12	0.84512	-119.354	456.5061	3.0976
12	0.8968	121.0073	409.0518	2.0639
13	0.94151	0.6026	9.5664	1.1698
13	0.84511	-119.358	3.5604	3.0977
13	0.89681	121.0081	1.1139	2.0639
14	0.94151	0.6036	1.4848	1.1698
14	0.8451	-119.363	30.1623	3.0981
14	0.89681	121.0091	13.0855	2.0638
15	0.93834	0.6352	30.134	1.2332
15	0.8419	-119.345	31.2909	3.1621
15	0.89364	121.0437	51.7734	2.1271
16	0.93648	0.6621	56.5488	1.2704
16	0.83988	-119.384	43.9678	3.2023
16	0.89178	121.0728	79.976	2.1643



**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
17	0.91161	1.0081	464.9947	1.7677
17	0.8133	-119.955	347.6851	3.7339
17	0.86696	121.4484	263.2173	2.6608
18	0.93835	0.6364	26.7524	1.2331
18	0.84188	-119.352	17.9213	3.1624
18	0.89365	121.045	5.5918	2.127
19	0.93837	0.6475	3.3958	1.2326
19	0.84175	-119.412	13.3698	3.1649
19	0.89367	121.0566	46.1829	2.1265
20	0.93648	0.6642	6.8316	1.2703
20	0.83986	-119.396	29.1899	3.2029
20	0.89179	121.075	51.1464	2.1642
21	0.93649	0.6685	49.7172	1.2701
21	0.83982	-119.42	14.782	3.2037
21	0.8918	121.0795	28.8296	2.164
22	0.91173	1.0614	284.1661	1.7654
22	0.81281	-120.248	198.0462	3.7438
22	0.86709	121.5044	146.9741	2.6583
23	0.90966	1.0273	16.4662	1.8067
23	0.81133	-119.948	28.8466	3.7735
23	0.86501	121.4696	23.9328	2.6997
24	0.90925	1.0365	30.5602	1.8151
24	0.81084	-119.976	14.0673	3.7832
24	0.8646	121.4795	5.8473	2.7081
25	0.90962	1.0316	8.7909	1.8075
25	0.81233	-119.984	13.8018	3.7535
25	0.8654	121.4701	10.4009	2.692

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
26	0.90893	1.0369	70.6221	1.8213
26	0.81054	-119.973	62.1329	3.7891
26	0.86429	121.48	46.7572	2.7143
27	0.91095	1.0153	10.5104	1.781
27	0.81262	-119.964	17.6952	3.7477
27	0.8663	121.4563	16.1519	2.674
28	0.91015	1.0248	43.9006	1.797
28	0.81179	-119.959	13.1803	3.7641
28	0.8655	121.4668	13.2353	2.69
29	0.90226	1.1896	68.589	1.9549
29	0.80287	-120.348	45.8929	3.9426
29	0.85763	121.6442	56.044	2.8475
30	0.90051	1.1689	89.7989	1.9897
30	0.80141	-120.24	60.8504	3.9718
30	0.85588	121.6233	49.402	2.8824
31	0.89722	1.1995	125.8024	2.0556
31	0.79814	-120.184	91.3094	4.0372
31	0.85259	121.6572	41.5289	2.9481
32	0.90256	1.3102	68.589	1.9489
32	0.80172	-121.014	45.8929	3.9657
32	0.85794	121.7709	56.044	2.8412
33	0.90081	1.3111	89.7989	1.9838
33	0.80031	-121.025	60.8504	3.9938
33	0.8562	121.7728	49.402	2.8761
34	0.89763	1.3838	125.8024	2.0474
34	0.79663	-121.203	91.3094	4.0674
34	0.85303	121.851	41.5289	2.9395

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
35	0.90967	1.0291	16.4662	1.8067
35	0.81131	-119.957	28.8466	3.7738
35	0.86502	121.4714	23.9328	2.6997
36	0.90925	1.0372	22.6375	1.815
36	0.81084	-119.98	8.8745	3.7833
36	0.8646	121.4802	2.8419	2.708
37	0.90925	1.0379	7.9233	1.815
37	0.81083	-119.984	5.1944	3.7834
37	0.8646	121.4809	3.015	2.708
38	0.90963	1.032	3.7332	1.8075
38	0.81232	-119.987	6.1586	3.7535
38	0.8654	121.4706	7.8508	2.692
39	0.90963	1.0338	5.058	1.8074
39	0.81231	-119.997	7.6433	3.7539
39	0.8654	121.4725	2.5517	2.6919
40	0.90895	1.0449	70.6221	1.821
40	0.81048	-120.017	62.1329	3.7905
40	0.8643	121.4884	46.7572	2.7139
41	0.91096	1.0191	10.5104	1.7808
41	0.81259	-119.984	17.6952	3.7482
41	0.86631	121.4603	16.1519	2.6739
42	0.91015	1.0276	43.9006	1.7969
42	0.81177	-119.974	13.1803	3.7647
42	0.8655	121.4696	13.2353	2.6899
43	0.9351	0.6278	41.2321	1.2981
43	0.83907	-119.147	42.8335	3.2186
43	0.8904	121.0375	28.8374	2.1921

**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

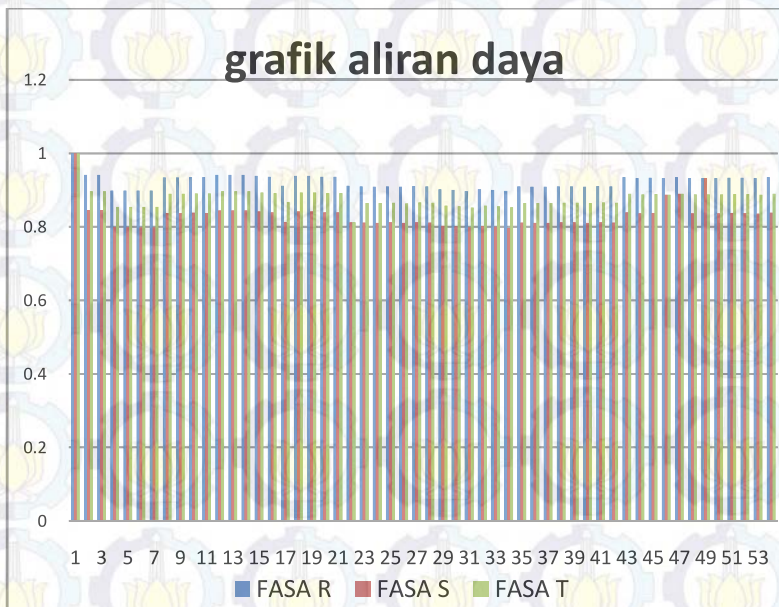
No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
44	0.9329	0.6456	10.3009	1.342
44	0.83687	-119.133	12.9096	3.2627
44	0.88821	121.0571	15.7449	2.2359
45	0.9337	0.6404	9.2127	1.326
45	0.83765	-119.144	8.8405	3.2469
45	0.889	121.0513	6.7446	2.2199
46	0.93249	0.6618	21.5053	1.3503
46	0.83632	-119.169	20.3693	3.2735
46	0.88779	121.0743	5.0213	2.2441
47	0.93497	0.629	0.2151	1.3007
47	0.83894	-119.147	0.715	3.2212
47	0.89027	121.0387	1.3476	2.1946
48	0.9329	0.6467	2.1478	1.3419
48	0.83685	-119.14	4.7746	3.2629
48	0.88821	121.0583	6.7537	2.2358
49	0.9329	0.6459	6.4302	1.3419
49	0.83686	-119.135	2.3942	3.2628
49	0.88821	121.0574	4.4985	2.2359
50	0.93291	0.6479	1.7246	1.3419
50	0.83684	-119.146	5.7417	3.2632
50	0.88821	121.0596	4.4933	2.2358
51	0.93371	0.6422	5.3613	1.3259
51	0.83764	-119.154	2.8646	3.2473
51	0.88901	121.0531	4.0456	2.2198
52	0.9337	0.641	3.8519	1.3259
52	0.83765	-119.148	5.9761	3.247
52	0.88901	121.052	2.6991	2.2199



**Tabel 4.1** Hasil analisis aliran daya sistem distribusi bandara juanda menggunakan metode forward/backward dan CPF (Lanjutan)

No Bus	Tegangan		Arus (ampere)	Drop tegangan (kV)
	Magnitude (P.U)	Sudut		
53	0.9325	0.6656	21.5053	1.3501
53	0.83628	-119.19	20.3693	3.2745
53	0.8878	121.0784	5.0213	2.2439
54	0.93497	0.6291	0.2151	1.3007
54	0.83894	-119.148	0.715	3.2212
54	0.89027	121.0389	1.3476	2.1946

Rugi-Rugi sebesar 140.644 kW



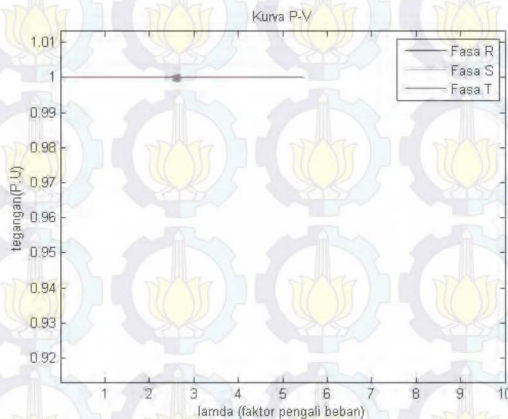
**Gambar 4.2** Grafik tegangan dari aliran daya sistem distribusi bandara juanda

Dari analisa aliran daya di atas dapat di ketahui dengan menambahkan metode secant predictor dimana pada metode ini terjadi proses predictor dan corrector yang dapat membantu proses penentuan titik penggambaran pada kurva P-V sehingga didapat jumlah iterasi yang cukup singkat yaitu antara 7 hingga 8 kali dan waktu *running program* yang cukup cepat yaitu sekitar 70 detik pada konfigurasi sistem distribusi radial 54 bus pada bandara juanda

Pada bus 1 tidak terjadi drop tegangan pada fasa R,S maupun T dikarenakan pada bus 1 tidak terjadi perubahan beban,karena bus 1 berada pada awal percabangan dan untuk bus yang mengalami drop tegangan yang besar adalah pada bus 32,33,dan bus 34 karena bus tersebut memiliki beban yang relative besar dan jarak yang jauh dari sumber.

Untuk mengetahui lebih lanjut analisa kestabilan sistem distribusi bandara juanda dapat dilihat melalui kurva P-V dari tiap bus yang terhubung langsung dengan beban sebagai berikut

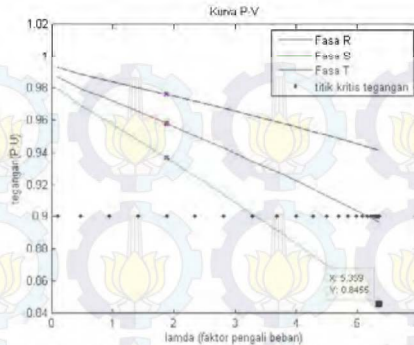
### 1. Bus 1



**Gambar 4.3** Kurva P-V bus 1

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 1 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan sebesar 1 pu tanpa mengalami drop tegangan hingga lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 3 kali dari beban nominal sistem

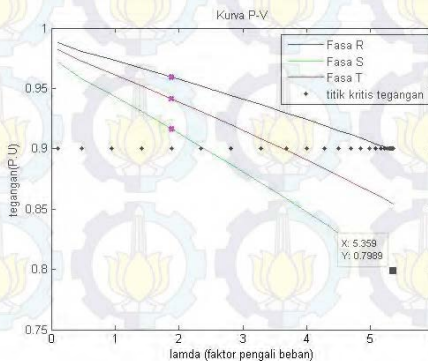
## 2. Bus 3



**Gambar 4.4** Kurva P-V bus 3

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 3 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,945 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,845 pu serta fasa T yaitu 0,895 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2 kali dari beban nominal sistem

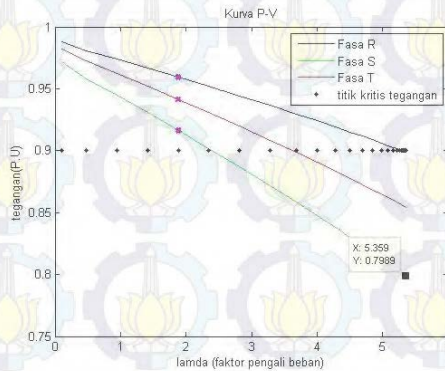
## 3. Bus 5



**Gambar 4.5** Kurva P-V bus 5

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 5 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,9 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,798 pu serta fasa T yaitu 0,85 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2 kali dari beban nominal sistem.

#### 4. Bus 6

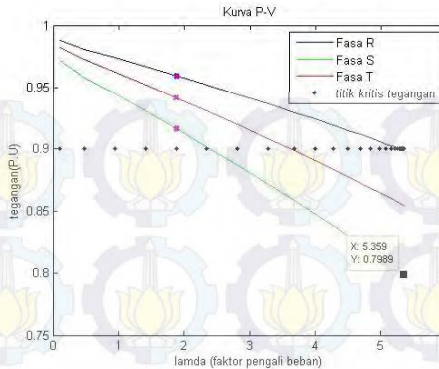


**Gambar 4.6** Kurva P-V bus 6

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 6 memiliki hasil yang sama dengan bus 5 pada sistem distribusi bandara juanda.

#### 5. Bus 7

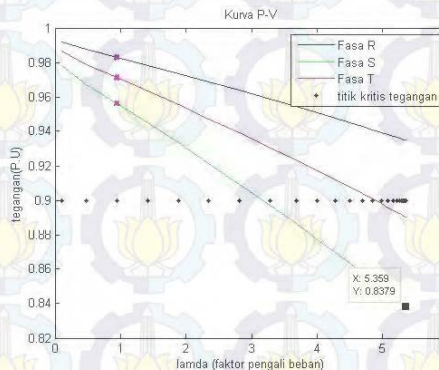




**Gambar 4.7** Kurva P-V bus 7

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 7 memiliki hasil yang sama dengan bus 5 dan bus 6 pada sistem distribusi bandara juanda.

## 6. Bus 9

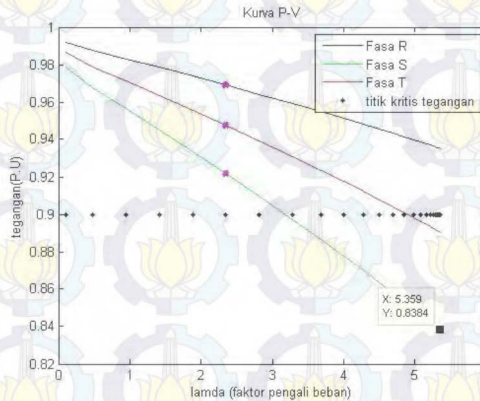


**Gambar 4.8** Kurva P-V bus 9

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 9 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,94 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8379 pu serta fasa T yaitu 0,885 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan

nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 1,1 kali dari beban nominal sistem.

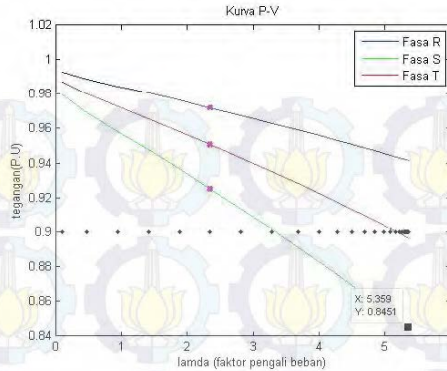
## 7. Bus 11



**Gambar 4.9** Kurva P-V bus 11

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 11 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,94 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8384 pu serta fasa T yaitu 0,887 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2,4 kali dari beban nominal sistem.

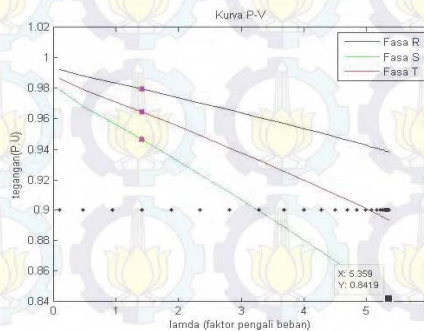
## 8. Bus 13



**Gambar 4.10** Kurva P-V bus 13

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 13 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,945 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8451 pu serta fasa T yaitu 0,887 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2,4 kali dari beban nominal sistem.

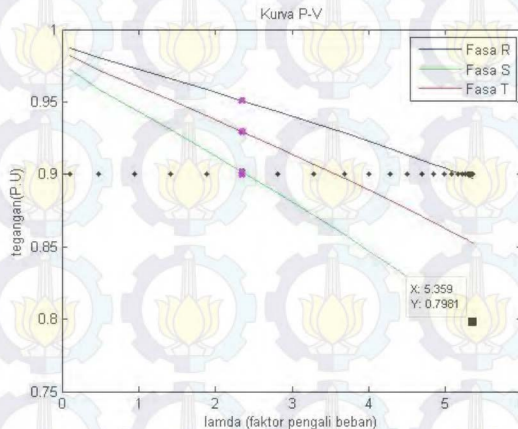
## 9. Bus 18



**Gambar 4.11** Kurva P-V bus 18

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 18 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,94 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,8419 pu serta fasa T yaitu 0,885 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 1,5 kali dari beban nominal sistem.

#### 10. Bus 32



**Gambar 4.12** Kurva P-V bus 32

Dari data dan kurva P-V hasil run program pada bus 32 sistem distribusi juanda di dapatkan bahwa nilai tegangan fasa R sebesar 0,889 pu dan fasa S memiliki nilai terendah yaitu 0,7981 pu serta fasa T yaitu 0,85 pu dimana terlihat bahwa titik kritis tegangan pada sistem yaitu 0,9 pu berdasarkan pada aturan standar Permen ESDM No. 04 2009 [8] dan IEEE [9] tentang batas-batas kondisi normal dari tegangan sistem distribusi yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominalnya. Lamda (faktor pengali beban sistem) mencapai titik maksimum yaitu 5.4 dan titik berwarna ungu adalah titik pembebanan maksimum yang mampu di terima oleh sistem yaitu 2,4 kali dari beban nominal sistem.



Dari data hasil simulasi yang telah di dapatkan bahwa kestabilan pada suatu bus atau sistem dapat dipengaruhi dari jarak beban dengan sumbernya atau dapat dikatakan bahwa semakin jauh jarak suatu bus dari sumber maka drop tegangan akan semakin besar.

Dan dengan mengetahui data dari setiap bus pada analisis stabilitas ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan sistem kedepan dimana titik percabangan yang dapat di tambahkan lagi beban dan yang tidak.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 H.Kersting, William, "Distribution System Modeling and Analysis", CRC PRESS, Florida, 2002.
- 2 Penangsang, Ontoseno. "*Analisis Aliran Daya*". ITS Press, Surabaya, 2006.
- 3 Kundur, P. "*Voltage Stability, Power System stability and control*". 959-1019.1994.
- 4 Saadat, Hadi. "*Power System Analysis (Second Edition)*", McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
- 5 Marsudi, Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- 6 Jen-Hao TENG, "*A Network-Topology-based Three Phase Load Flow for Distribution Systems*", Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A) Vol.24, No.4, 2000.pp.259-264
- 7 Abdel-Akher,Mamdouh," *Voltage stability analysis of unbalanced distribution systems using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor*". IET Gener. Transm. Distrib., 2013, Vol. 7, Iss. 3, pp. 309–317 309 doi: 10.1049/iet-gtd.2012.0360
- 8 Permen ESDM No. 04 2009
- 9 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electirc Power Quality, 1159-1995
- 10 Priambodo,Pungki "*Analisis aliran daya tiga fasa tidak seimbang menggunakan metode k-matrik dan  $z_{br}$  pada sistem distribusi 20kv kota Surabaya*"Digilib.its,Surabaya,2013



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dengan menggunakan metode Continuous Power Flow (CPF) kita dapat mengetahui bus mana yang lebih stabil dengan penambahan beban secara bertahap.
- Metode analisis aliran daya menggunakan metode K-matrik memiliki konvergensi yang cepat. Untuk sistem distribusi Bandara Juanda membutuhkan 7 hingga 8 kali iterasi.
- Analisis aliran daya menggunakan Continuous Power Flow yang di kombinasikan dengan *Secant Predictor* dapat mempermudah studi dengan cara penyederhanaan penelusuran jalur saluran distribusi Bandara Juanda.
- Kurva P-V memudahkan kita untuk mengetahui Bus dan Fasa yang mengalami tegangan jatuh (voltage collapse)

#### **5.2 SARAN**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Setelah mengetahui Bus yang mengalami tegangan jatuh (voltage collapse) di harapkan dapat dilakukan langkah selanjutnya yaitu dengan menambahkan kapasitor atau perbaikan kualitas daya
- Program analisis aliran daya yang telah dikembangkan hanya dapat digunakan untuk sistem distribusi pasif. Sehingga tidak dapat mengakomodir adanya pembangkitan di sisi distribusi. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan metode yang sama dengan modifikasi program untuk mengakomodir adanya bus generator pada sistem distribusi.
- Metode K-matrik dapat digunakan pada aplikasi riil untuk sistem monitoring sistem distribusi tenaga listrik.



